

TNO-rapport  
PML 1998-A23

## Berekening van het in- en extern risico van explosievenopslag met behulp van 'RISKANAL'

TNO Prins Maurits Laboratorium

Lange Kleiweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42  
Fax 015 284 39 58

Datum  
juli 1998

Auteur(s)  
Ir. P.G.J. Timmers

Rubricering  
Vastgesteld door : Maj. W. Ceelen  
Vastgesteld d.d. : 9 juni 1998  
(deze rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd  
Managementuitreksel : Ongerubriceerd  
Samenvatting : Ongerubriceerd  
Rapporttekst : Ongerubriceerd  
Bijlagen A - G : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : *il*  
Oplage : 26  
Aantal pagina's : 52 (incl. bijlagen,  
excl. RDP & distributielijst)  
Aantal bijlagen : 7

© 1998 TNO

TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel  
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek  
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
TNO Technische Menskunde



AQF99-04-0666

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

19990119 061

## Managementuittreksel

Titel : Berekening van het in- en extern risico van explosievenopslag met behulp van 'RISKANAL'  
Auteur(s) : Ir. P.G.J. Timmers  
Datum : juli 1998  
Opdrachtnr. : A97KL474  
Rapportnr. : PML 1998-A23

Het computerprogramma 'RISKANAL' is door het TNO Prins Maurits Laboratorium in opdracht van het Ministerie van Defensie ontwikkeld om risico's verbonden aan de opslag van munitie en explosieven te kwantificeren. Via een interactieve vragenlijst wordt de lay-out van een munitiemagazijnencomplex in het programma ingevoerd en kan het interne en externe risico verbonden aan de opslag berekend worden. Voor een nieuwe opslag is het tevens mogelijk om een optimale lay-out te bepalen, wat resulteert in een zo laag mogelijk risico. Ook kan het effect van een andere belegging van de explosieven op het extern risico direct in kaart worden gebracht.

Op verzoek van het Ministerie van Defensie, DMKL/sectie Milan, bureau AMV werd een nederlandstalige beschrijving gegeven van de werking van het programma 'RISKANAL'. Hiermee wordt een duidelijk overzicht gegeven van de wijze van aanpak en de methodes die door het programma gebruikt worden. Het rapport kan tevens gebruikt worden als handleiding voor het gebruik van 'RISKANAL' of voor de interpretatie van de resultaten.

Het programma berekent het intern en extern risico van een explosievenopslag. Met intern risico wordt de mogelijkheid van een initiatie in een magazijn als gevolg van een ontploffend, nabij gelegen magazijn bedoeld. Het extern risico geeft het individueel en groepsrisico voor personen in de omgeving als gevolg van een exploderend magazijn. Het programma is gebaseerd op een combinatie van de aanbevelingen van de NATO-werkgroep AC/258 en de letselcriteria zoals beschreven in het Nederlandse 'Groene Boek'. De AC/258-aanbevelingen zijn gebruikt voor de berekening van de explosie-effecten en voor de berekening van het intern risico. Voor de berekening van de fragment- en brokstukdichtheid wordt gebruikgemaakt van door het TNO Prins Maurits Laboratorium afgeleide formules, gebaseerd op grootschalige testen in USA (ESKIMO, Yuma). De formules uit het groene boek worden gebruikt voor de berekening van de gevolgen voor personen in de omgeving. Vervolgens kan met behulp van de kans op een ongeval het extern risico bepaald worden.

Uit de beschrijving van het programma worden de volgende conclusies getrokken.

- Door het interactieve karakter van het programma kunnen de input-gegevens eenvoudig worden veranderd en kunnen de effecten van deze veranderingen snel zichtbaar gemaakt worden. Hierdoor is het mogelijk om het effect als gevolg van wijzigingen in de lay-out van het munitiemagazijnencomplex in kaart te brengen en zo te komen tot een optimaal ontwerp met betrekking tot veiligheid.
- Het programma is zodanig opgezet dat de gebruikte formules/relaties door ingewijden in het programma vrij eenvoudig kunnen worden vervangen door nieuwe relaties verkregen uit nieuwe inzichten. Men kan hierbij denken aan nieuwe inzichten met betrekking tot schadecriteria, brokstukkenuitworp, initiatiekans, enzovoort.
- De absolute getallen in de output-file dienen met enige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Doordat wereldwijd slechts beperkte experimentele gegevens beschikbaar zijn, zijn veel van de gebruikte formules slechts beperkt gevalideerd. De onnauwkeurigheid van de resultaten kan door de gebruikte formules relatief groot zijn. Om dit te verbeteren is experimenteel onderzoek noodzakelijk. De verkregen kwantitatieve resultaten zijn echter een goed hulpmiddel om waarden voor het extern risico relatief met elkaar te vergelijken.

## Samenvatting

Sinds het begin van de jaren '80 wordt voor risicoanalyse van explosievenopslag door het TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) gebruikgemaakt van het computerprogramma 'RISKANAL'. Dit programma werd door TNO-PML zelf ontwikkeld en steeds aangepast aan de meest recente kennis met betrekking tot de risicoanalyse. In dit rapport wordt een beschrijving gegeven van het programma 'RISKANAL', de opbouw en gebruikte rekenmethodes, waardoor het rapport tevens gebruikt kan worden als handleiding voor het gebruik van het programma. 'RISKANAL' berekent de interne en externe risico's behorende bij een explosievenopslag. Met intern risico wordt bedoeld de mogelijkheid dat een magazijn wordt geïnitieerd door een ontploffend ernaast gelegen magazijn. Het extern risico geeft het aantal slachtoffers in de omgeving als gevolg van een exploderend magazijn. Het programma gebruikt de veiligheidsafstanden volgens de aanbevelingen van de NATO-werkgroep AC/258 [2] voor de berekening van het intern risico en de probit-functies zoals gegeven in het 'Groene Boek' [3] voor de berekening van de gevolgen.

Het uiteindelijke resultaat van het programma is het gemiddelde aantal slachtoffers (letaliteiten) dat verwacht kan worden wanneer een magazijn op een complex zou exploderen. Met deze getallen kan het groepsrisico worden berekend door de kans op een accidentele explosie erbij te betrekken. Op grond van deze informatie kan beslist worden of een situatie al of niet aanvaardbaar is.

## Inhoud

Managementuittreksel .....	2
Samenvatting .....	4
1      Inleiding .....	6
2      Het programma 'RISKANAL' .....	7
2.1      Definitie van donors en acceptors .....	8
2.2      Berekening 'intern risico' .....	12
2.3      Berekening 'extern risico' .....	15
2.4      output .....	20
3      Conclusies .....	23
4      Referenties .....	24
5      Ondertekening .....	26
Bijlagen:	
A      Effect als functie van de afstand voor verschillende hoeveelheden explosieve stoffen (1.1)	
B      Data-file format met een voorbeeld	
C      Weergave van begincondities	
D      Formules voor het kwantificeren van de fysische effecten	
E      Formules voor de berekening van de 'Ballistic limit velocities'	
F      Weergave van een gedetailleerde en een standaard output van de externe-risicoberekeningen	
G      Standaard output van de eindresultaten	

## 1 Inleiding

Sinds het begin van de jaren '80 wordt voor risicoanalyse van explosieven-/munitieopslag door het TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) gebruikgemaakt van het computerprogramma 'RISKANAL'. Het programma 'RISKANAL' werd door TNO-PML ontwikkeld om risico's verbonden aan de opslag van munitie en explosieven te kwantificeren. Hiermee kunnen interne en externe risico's bij bestaande opslag van explosieven en munitie berekend worden en is het tevens mogelijk voor een nieuwe opslaglocatie een optimaal ontwerp te realiseren, wat resulteert in een zo laag mogelijk risico. Daarnaast kan het effect van een andere belegging op het extern risico direct in kaart worden gebracht, waardoor de mogelijkheid onderzocht kan worden om door aanpassing van de belegging het extern risico te verlagen.

Door het Ministerie van Defensie, DMKL/sectie Milan, bureau AMV werd gevraagd een nederlandstalige beschrijving te geven van de werking van het programma 'RISKANAL'. Hiermee wordt een duidelijk overzicht gegeven van de wijze van aanpak en de methodes die door het programma gebruikt worden. Het rapport kan tevens gebruikt worden als handleiding voor het gebruik van 'RISKANAL' of voor de interpretatie van de resultaten.

Het rapport zal eerst een algemene beschrijving geven van de werking van het programma RISKANAL. Hierna zullen de verschillende onderdelen van het programma elk afzonderlijk behandeld worden.

## 2 Het programma 'RISKANAL'

Het programma 'RISKANAL' is ontwikkeld om de interne en externe risico's te berekenen bij munitie- of explosievenopslag. Met intern risico wordt de mogelijkheid tot sympatische detonaties bedoeld indien één magazijn op een magazijnen-complex explodeert. Bij een sympatische detonatie vindt initiatie van de in een magazijn opgeslagen explosieven plaats door het exploderende naastgelegen magazijn. Het externe risico is gedefinieerd als de kans op letale verwondingen voor personen in de directe omgeving van de opslaglocatie per jaar. Er wordt een individueel risico en een groepsrisico berekend.

Voor de berekening van het interne risico en het kwantificeren van de explosie-effecten ('blast' en hittestraling) wordt gebruikgemaakt van de AC/258-aanbevelingen [2]. Het kwantificeren van de uitworp van fragmenten en brokstukken wordt gedaan met behulp van door TNO-PML afgeleide empirische formules. Voor de bepaling van de gevolgen (extern risico) worden de probit-functies voor letaal en ernstig letsel uit het Nederlandse 'Groene Boek' [3] gebruikt. Een probit-functie geeft de kans op letsel als functie van de, voor dat letsel, meest belangrijke parameters. Zo zijn de meest belangrijke parameters voor letale longschade de bereikte piekoverdruk en impuls en kan uit de probit-functie voor letale longschade het percentage sterfgevallen worden afgeleid bij een bepaalde combinatie van piekoverdruk en impuls.

De belangrijkste aannamen voor de berekening van de explosie-effecten zijn als volgt.

- 'Blast'-parameters zijn afgeleid van halfbolvormige TNT-ladingen die op maaiveldniveau en in de open lucht tot ontploffing worden gebracht.
- Effectberekeningen gaan uit van een vlak terrein. De invloed van hellingen, vegetatie en andere obstakels wordt niet meegenomen.
- De 'blast'-parameters zijn geldig voor geschaalde afstanden van 0,0674 tot 40,0 m/kg<sup>1/3</sup>. De geschaalde afstand legt een relatie tussen de hoeveelheid explosieve stof en de afstand waarbij een bepaalde piekoverdruk optreedt.<sup>1</sup> Deze relatie is weergegeven in tabel 1.

Met de formules uit AC/258, part II [2] wordt door het programma voor elk donormagazijn met zijn totale betrokken netto hoeveelheid explosieven de invallende en gereflecteerde druk, de invallende en gereflecteerde impuls, de duur van de positieve fase, de stralingsintensiteit en de stralingsduur berekend. De fragmentdichtheid wordt berekend met empirische formules afgeleid van experimentele data verkregen tijdens de ESKIMO [4, 5] en Yuma [6] tests (10.900 kg M107,

---

<sup>1</sup> Uit de natuurwetten blijkt dat als de afstand tot de detonatie wordt verdubbeld er 8 keer zoveel explosief nodig is om daar dezelfde schokgolfhoogte te krijgen. De geschaalde afstand is daarom gedefinieerd als  $SD = m/q^{1/3}$  (met m is de afstand in meter en q is de hoeveelheid explosieve stof in kg). Met andere woorden een explosie van 1000 kg explosief op 100 meter afstand geeft dezelfde piekoverdruk als een explosie van 10 kg op 21,5 meter afstand.

10.900 kg M117 en 2970 kg M117). Met de verkregen resultaten vindt een schatting plaats van de effecten op omliggende objecten, waarbij gebruikgemaakt wordt van de probit-functies uit het Nederlandse 'Groene Boek' [3].

*Tabel 1: Relatie tussen geschaalde afstand (SD) en de te verwachten piekoverdruk volgens NATO AC/258-aanbevelingen [2].*

Geschaalde afstand (SD) (Q in kg, afstand in m) (m/kg <sup>1/3</sup> )	Verwachte piekoverdruk (side-on) (bar)
55,5	0,015
44,4 tot 33,3	0,02 tot 0,03
22,2	0,05
14,8	0,09
9,6	0,16
8,0	0,21
7,2	0,24
3,6	0,70
2,4	1,80

Het programma 'RISKANAL' is opgedeeld in vier delen. In het eerste deel van het programma dient de situatie geschetst te worden. Dit betekent dat potentieel gevaarlijke opslagfaciliteiten (donors) en omliggende objecten/personen welke mogelijk schade of letsels kunnen ondervinden van de exploderende donor (acceptors) gedefinieerd moeten worden. In het tweede deel van het programma wordt het 'intern risico' berekend. Dit betekent dat wordt nagegaan of, en zo ja welke, donors een sympatische detonatie veroorzaken. De hoeveelheid bij een detonatie betrokken explosief wordt aan de hand van deze resultaten aangepast. In het volgende, derde, deel van het programma wordt het 'extern risico' berekend. Dit betekent het kwantificeren van de explosie-effecten van elke donor, de gevolgen voor elke acceptor en het bepalen van een gemiddelde kans op letaliteit. Tenslotte wordt het geheel weergegeven in een output-file waarin de risico's worden aangegeven.

Om tot een goede beschrijving van het programma te komen is het waarschijnlijk het eenvoudigst om de lijn van het programma te volgen. In het vervolg van dit hoofdstuk zullen de vier onderdelen van het programma daarom afzonderlijk aan bod komen en uitvoerig worden behandeld.

## 2.1 Definitie van donors en acceptors

In dit gedeelte van het programma wordt door middel van het stellen van vragen een beeld geschetst van de situatie op en om het explosieven- of munitieopslagterrein. Alle stappen zullen nu worden besproken.

Om snel een indruk te krijgen van de globale effecten, zonder eerst alle gegevens in te hoeven voeren, start het programma met de mogelijkheid om voor maximaal

vijf verschillende netto hoeveelheden explosieven (gevaarenklasse 1.1) het effect (kans op letaliteit/gewonden) uit te zetten als functie van de afstand. Indien deze grafieken gewenst zijn dan zal het programma door middel van een subroutine de situatie 'één magazijn en één persoon in een huis of in het vrije veld' berekenen voor verschillende afstanden. Dit kan worden uitgevoerd met of zonder het effect van fragmenten en brokstukken. In bijlage A worden enkele voorbeelden van deze figuren gegeven. Indien verder geen figuren meer gewenst zijn, kan het programma hierna worden afgesloten.

Als het programma niet wordt afgesloten wordt vervolgens de naam van de input-file gevraagd. Deze heeft maximaal negen karakters en een extensie .DAT. Als de input-file al bestaat wordt deze gelezen. Bij een nieuwe input-file zal deze worden gecreëerd.

Het zal duidelijk zijn dat een grote hoeveelheid data nodig is om een munitiemagazijnencomplex (MMC) en zijn omgeving zo te kunnen beschrijven dat de output realistisch is. Aangezien deze data voor de meeste opslagterreinen in Nederland al in het juiste format beschikbaar zijn is geen bijzondere aandacht besteed aan een programmaonderdeel dat, bijvoorbeeld met een grafisch tablet, het maken van zo'n input-file vergemakkelijkt.

De input-file dient informatie te bevatten over het complex zelf (type, oriëntatie en positie van de magazijnen met zijn inhoud aan explosieve stoffen en de gevaaren(sub)klasse daarvan) en over de omgeving (type en positie van de objecten en het aantal personen per object). De afmetingen en de oriëntatie van een magazijn (donor) worden gedefinieerd door zijn coördinaten. Een magazijn wordt bepaald door drie coördinaten. De eerste twee coördinaten bepalen de wand met de ingang van het magazijn, de derde coördinaat is voor de achterwand. Deze coördinaten zijn nodig om de oriëntatie vast te leggen, uitgaande van een rechthoekig magazijn. Deze ligging is zeer belangrijk, aangezien de wand met de ingang het meest kwetsbaar is, zowel voor externe effecten als in het geval van een interne explosie. Elk object (acceptor) in de omgeving, behalve een weg, wordt vastgelegd met één paar coördinaten. Wegen worden gedefinieerd door het begin- en eindpunt van rechte lijnen (minimaal 25 meter). Een weg met drie rechte stukken kan worden beschreven met vier coördinaten. Voor een kromming in een weg dient een vereenvoudiging plaats te vinden door deze op te delen in rechte stukken van maximaal 25 meter lengte.

Als een nieuwe input-file gemaakt moet worden, vraagt het programma interactief om de volgende gegevens:

- het aantal magazijnen;
- het aantal omringende objecten;
- het totale aantal objectcoördinaten;
- het gemiddelde aantal personen per unit;
- de naam van het complex;
- voor elk magazijn:

- het type van het magazijn;
- de naam van het magazijn;
- de explosieve inhoud van het magazijn;
- de gevarenklasse van de inhoud;
- drie hoekcoördinaten van het rechthoekige magazijn;
- voor elk omringend object:
  - de naam van het object;
  - het type object;
  - het nummer in 'array' van de eerste coördinaten ( $k$ )<sup>2</sup>;
  - het nummer in 'array' van de laatste coördinaten ( $n$ )<sup>2</sup>;
  - het aantal units voor het object (aantal personen) of de 24-uurs verkeersintensiteit van auto's en fietsers/voetgangers voor wegen;
  - de centrumcoördinaten van het object of de eerste coördinaten van een weg;
  - de volgende ( $n-k$ ) coördinaten van een weg.

Voor het type magazijn is een aantal mogelijkheden in het programma opgenomen, elk met een karakteristieke code:

- I7 : igloos ontworpen voor 7 bar;
- I3 : igloos ontworpen voor 3 bar;
- ID : met aarde overdekte constructie met een frontpui en deuren die, indien ze gericht zijn naar een potentieel explosiegevaarlijke locatie, bestand zijn tegen hogesnelheidsprojectielen;
- IB : met aarde overdekte constructie met een deur die, indien deze gericht is naar een potentieel explosiegevaarlijke locatie, gebarricadeerd is;
- IE : niet gebarricadeerde met aarde overdekte constructie;
- BR : zware constructies (0,7 m beton, steen of equivalent) met een beschermend dak (0,15 m beton met bijbehorende draagconstructie) en een gebarricadeerde deur indien deze gericht zijn naar een potentieel explosiegevaarlijke locatie;
- BD : zware constructie zonder beschermend dak maar met een gebarricadeerde deur indien gericht naar een potentieel explosiegevaarlijke locatie;
- OB : aan drie zijden gebarricadeerde openluchtopslag of lichte constructie;
- OT : aan vier zijden gebarricadeerde openluchtopslag of lichte constructie;
- OP : niet gebarricadeerde openluchtopslag of lichte constructie.

Ook voor het invoeren van omringende objecten is een aantal typen mogelijk, dat elk met een karakteristieke code wordt aangeduid:

- HS : bewoond huis;
- HF : bewoond huis met meer dan vier verdiepingen;
- HU : personen in tenten, parken, enzovoort (onbeschermd ('unprotected') personen);
- RD : openbare verkeersweg;
- PL : POL-faciliteiten (*P*etroleum, *O*ils, *L*ubricants).

---

2 Voor alle objecten, behalve wegen, geldt dat  $n$  gelijk is aan  $k$ .

Met een vooraf bepaald gemiddeld aantal personen per unit kan het totale aantal personen per object worden bepaald door een aantal units te koppelen aan elk omringend object. Als bijvoorbeeld het gemiddeld aantal personen per unit 2,5 bedraagt, kan een groep van 10 personen in het park worden gedefinieerd door 4 units (4 HU). Dit betekent wel dat gegevens beschikbaar moeten zijn over het gemiddeld aantal personen per huis of in een park. Voor een openbare weg dient de 24-uurs verkeersintensiteit voor auto's en voor fietsers/voetgangers bekend te zijn of te worden geschat. Het programma neemt voor auto's en vrachtverkeer een gemiddelde snelheid aan van 60 km/uur, en voor fietsers 15 km/uur.

Bij het beschrijven van de omgeving is het van belang te weten tot welke afstand van de donors de omgeving in een berekening meegenomen moet worden. Deze afstand is namelijk afhankelijk van de explosie-effecten en dus van de gevaar(sub)klasse en hoeveelheid van het opgeslagen explosief. Voor een opgeslagen hoeveelheid 1.1 explosief geldt een zonering volgens de zogenaamde nota van van Houwelingen [7]. Hierin wordt een indeling gemaakt naar A-zone, B-zone en C-zone, afhankelijk van de afstand tot de donor. Buiten de grootste zone, de C-zone, zijn geen restricties meer geldig. Het lijkt daarom aannemelijk om deze zone als grens te nemen voor de input-file van RISKANAL. De C-zone ligt op tweemaal de afstand voor huizenbouw. Dit betekent dat de geschaalde afstand van de C-zone tweemaal de geschaalde afstand voor huizenbouw ( $SD = 22,2$ ) bedraagt. De afstand van de C-zone is dus afhankelijk van de totale 'sympatische' hoeveelheid explosief volgens de volgende relatie:

$$D = 44,4 Q^{1/3} (m)$$

Hierbij is D de afstand tot de donor in meter en Q de totale hoeveelheid opgeslagen explosief in kg TNT.

Deze aanname wordt later via de output-file op waarheid getoetst. Hierbij wordt geverifieerd of objecten aan de rand van het in kaart gebrachte gebied geen significante bijdrage aan het individueel risico opleveren.

Een voorbeeld van een input-file voor 'RISKANAL' is gegeven in bijlage B.

Na de invoer van alle donors en acceptors geeft het programma nog een aantal opties. De eerste optie die volgt op de invoer van de objecten is de mogelijkheid om de data te begrenzen ('rezoning'). Als een data-file een complex weergeeft met een groot gebied er omheen en er vindt een berekening plaats voor dit complex met een kleinere hoeveelheid opgeslagen explosief, dan worden de omringende objecten buiten een handmatig te specificeren veiligheidsafstand genegeerd. Vervolgens bestaat de mogelijkheid om interactief één of meerdere data van magazijnen of omringende objecten te wijzigen. Ook kan nog een nieuw item worden toegevoegd of een bestaand item worden verwijderd.

Indien de gebruiker dit wenst bestaat de mogelijkheid om interactief de resultaten van de berekening van het interne risico te wijzigen. Dit kan noodzakelijk zijn wanneer een specifiek magazijn of een specifieke situatie of maatregel niet in het programma is verwerkt: de berekening resulteert bijvoorbeeld in sympatische reacties welke in realiteit niet ontstaan of vice versa.

Tenslotte moeten nog enkele vragen beantwoordt worden om de output naar het scherm of de printer te controleren. Er kunnen tevens schetsen van het complex, zowel met als zonder zijn omgeving, gemaakt worden op het scherm of op de printer.

Voor de berekening van het interne en externe risico moeten twee parameters worden gedefinieerd. De eerste bepaalt welke veiligheidsafstand volgens AC/258 gebruikt moet worden, de maximumafstand of korter. In een aantal gevallen kan een kortere afstand worden gebruikt, bijvoorbeeld als geen primaire of erg gevoelige klasse 1.1 explosieven aanwezig is of als slechts kleine kalibers van gevaren(sub)klasse 1.2 aanwezig zijn. De tweede parameter geeft de mogelijkheid om de berekening uit te voeren met of zonder de gevolgen van fragmenten en brokstukken. De constructie van een magazijn of de bescherming van een omringend object kan zodanig zijn dat de effecten van fragmenten verwaarloosd kunnen worden.

Het input-gedeelte van 'RISKANAL' wordt afgesloten met enkele berekeningen en output-opties.

- De vierde coördinaat van elk magazijn wordt berekend.
- De begincondities kunnen worden uitgeprint op scherm of printer (bijlage C geeft een voorbeeld).
- Schetsen van de beginsituatie kunnen worden gemaakt (opties: alleen de magazijnen, de magazijnen met de omgeving, objecten in de omgeving weergegeven met het symbool X of met een pictogram, dikke of dunne lijnen, A3 of A4-formaat) (zie bijlage C).
- De totale hoeveelheid betrokken explosief, onafhankelijk van de gevaren(sub)klasse, wordt berekend met het doel objecten die buiten de veiligheidscirkel, behorende bij deze hoeveelheid explosief liggen buiten de berekening te houden.
- Elk magazijn wordt gekarakteriseerd door een nummer, afhankelijk van zijn inhoud (1 voor gevaren(sub)klasse 1.1, 2 voor gevaren(sub)klasse 1.2, 3 voor gevaren(sub)klasse 1.3a, 4 voor gevaren(sub)klasse 1.3b en 5 voor gevaren(sub)klasse 1.4).

'RISKANAL' is nu klaar om te gaan rekenen.

## 2.2 Berekening 'intern risico'

Een complex wordt 'intern veilig' genoemd als er geen sympatische reacties optreden bij een explosie van een willekeurig magazijn. Dit deel van het programma richt zich dus op de berekening van mogelijke sympatische reacties. Explosieven-

opslagmagazijnen dienen op een zodanige afstand van elkaar en van andere gebouwen geplaatst te worden dat een minimaal haalbaar risico voor mens, dier en bezit resulteert. In de AC/258-aanbevelingen wordt de minimaal toegestane afstand tussen een donor met een gegeven hoeveelheid explosieven en een blootgesteld object (acceptor) gedefinieerd als de 'quantity distance' (QD). De 'quantity distances' zijn gebaseerd op een groot aantal tests en een grondige analyse van alle beschikbare data op het gebied van accidentele explosies in verschillende landen. Afhankelijk van het type blootgesteld object bestaan verschillende 'quantity distances'. Indien het blootgesteld object een naastgelegen magazijn is, wordt de betreffende QD ook wel 'Inter Magazine Distance' genoemd.

De waarde van de 'quantity distance' is echter een bron van onzekerheid gezien de grote variëteit in explosies. In de AC/258-richtlijn, Part I, Annex A, Section II worden de 'quantity distances' gegeven voor de diverse situaties. In sommige gevallen wordt de 'quantity distance' gegeven als een vaste afstand, in andere gevallen is deze afhankelijk van de maximale hoeveelheid betrokken explosief in het donormagazijn. Aan de hand van deze gegevens uit de AC/258 berekent 'RISKANAL' de 'quantity distances' (QD) en de (kortste) werkelijke afstanden (DIST) voor elke mogelijke donor-acceptor combinatie. Voor de QD van igloos wordt tevens de oriëntatie van de magazijnen in rekening gebracht. Met andere woorden: 'RISKANAL' onderzoekt of andere magazijnen worden geïnitieerd (acceptormagazijnen) door één voor één elk magazijn te laten detoneren (donormagazijnen). Alle mogelijke explosielocaties met zijn mogelijke sympathisch reagerende magazijnen worden opgeslagen.

Als een sympathische reactie optreedt, kan dit acceptormagazijn weer sympathische reacties veroorzaken in andere magazijnen. Er worden verschillende rekenregels gebruikt voor de verschillende situaties, hoofdzakelijk in overeenstemming met AC/258. In tabel 2, 3 en 4 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte rekenregels (hierin is QD de 'quantity distance' en CD de 'conversion distance'). In de AC/258 worden verschillende niveaus aangegeven voor de QD, namelijk  $D_1$  tot en met  $D_{12}$ . De 'conversion distance' is gedefinieerd als één niveau lager dan het QD-niveau. Als bijvoorbeeld voor 1.1 explosief de QD gelijk is aan  $D_9 = 4.8Q^{1/3}$ , dan is de CD gedefinieerd als  $D_8 = 3.6Q^{1/3}$ . De term 'conversion distance' is geïntroduceerd om te kunnen bepalen of explosieven met gevaren(sub)klasse 1.2 of 1.3 als gevaren(sub)klasse 1.1 behandeld moeten worden, als zij te dicht bij een 1.1-bron zijn opgeslagen (volgens de regels in tabel 2, 3 en 4).

Het programma telt de totale hoeveelheid explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1 voor elke mogelijke donor en zijn sympathisch reagerende acceptors bij elkaar op. Het centrum van de explosie (initiatiepunt) van de 1.1-detonatie is het donormagazijn zelf als dit explosieven van een gevaren(sub)klasse 1.1 bevat. Is dit niet het geval, dan bestaat de mogelijkheid dat één of meerdere acceptormagazijnen die wel 1.1-explosieven bevatten sympathisch zullen reageren. In dat geval wordt het acceptormagazijn met 1.1-explosieven dat het dichtste bij de donor ligt als het centrum van de explosie gekozen.

Indien alle potentiële explosielocaties (donors) op deze manier zijn berekend, wordt een tabel met de verkregen resultaten op het scherm weergegeven. Deze tabel wordt tevens opgeslagen in een data-file.

Op dit punt wordt de mogelijkheid gecreëerd om handmatig correcties aan te brengen voor situaties welke niet kunnen worden beschreven met de QD-theorie. Dit kan interactief gedaan worden, waarna een nieuwe tabel met de gewijzigde resultaten wordt gegeven.

De resultaten van de berekening van het 'interne risico' kunnen als volgt worden samengevat.

- Voor elke potentiële explosiebron (donormagazijn) worden alle sympathisch reagerende magazijnen (acceptors) weergegeven.
- Voor elk donormagazijn wordt de totale hoeveelheid betrokken explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1 gegeven.
- Het centrum van de 1.1-explosie wordt gegeven.
- De betrokken hoeveelheid explosieven van een andere gevaren(sub)klasse en niet reagerend als 1.1 wordt per magazijn gegeven.

*Tabel 2: Rekenregels voor een 1.1-donor.*

Donor D gevaren-(sub)klasse	Acceptor A gevaren-(sub)klasse	Rekenregels
1.1	1.1	A binnen 1.1 QD van D geeft een sympatische reactie van A
1.1	1.2/1.3	A binnen 1.1 QD van D geeft een sympatische reactie van A A tevens binnen 1.1 CD van D betekent dat de inhoud van A als 1.1-klasse wordt beschouwd.

*Tabel 3: Rekenregels voor een 1.2-donor.*

Donor D gevaren-(sub)klasse	Acceptor A gevaren-(sub)klasse	Rekenregels
1.2	1.1	A binnen 1.2 QD van D geeft een sympatische reactie van A A tevens binnen 1.1 CD van D betekent dat de inhoud van D als 1.1-klasse wordt beschouwd
1.2, als 1.1	1.1	A binnen het maximum van 1.1 QD en 1.2 QD van D geeft een sympatische reactie van A
1.2, als 1.1	1.2/1.3	A binnen het maximum van 1.1 en 1.2 QD van D geeft een sympatische reactie van A A tevens binnen 1.1 CD van D betekent dat de inhoud van A als 1.1-klasse wordt beschouwd.
1.2	1.2/1.3	A binnen 1.2 QD van D geeft een sympatische reactie van A

Tabel 4: Rekenregels voor een 1.3-donor.

Donor D gevaren-(sub)klasse	Acceptor A gevaren-(sub)klasse	Rekenregels
1.3	1.1	A binnen 1.3 QD van D geeft een sympathische reactie van A A tevens binnen 1.1 CD van D betekent dat 50% van de inhoud van D als 1.1-klasse wordt beschouwd (gedeelte verbrand voordat reactie plaatsvindt)
1.3, als 1.1	1.1	A binnen het maximum van 1.1 QD en 1.3 QD van D geeft een sympathische reactie van A
1.3, als 1.1	1.2/1.3	A binnen het maximum van 1.1 QD en 1.3 QD van D geeft een sympathische reactie van A A tevens binnen 1.1 CD van D betekent dat de inhoud van A als 1.1-klasse wordt beschouwd
1.3	1.2/1.3	A binnen 1.3 QD van D geeft een sympathische reactie van A

### 2.3 Berekening 'extern risico'

Indien alleen de berekening van het 'interne risico' gewenst is, kan het programma hier worden afgesloten. Het volgende onderdeel van het programma berekent het externe risico. Hierbij worden de fysische explosie-effecten gekwantificeerd, de effecten op de omgeving berekend en de gevolgen voor personen in de omgeving (kans op letaliteit) berekend.

In sommige gevallen reageren groepen van magazijnen sympathisch en op een vergelijkbare manier en geeft elk betrokken magazijn (donor) dezelfde externe effecten. Om rekentijd te reduceren kan de berekening van het effect in dat geval worden weggelaten door deze gelijk te stellen aan eerder berekende effecten. Als onderdeel van de berekening zal de inhoud van elk sympathisch reagerend magazijn worden gedefinieerd. De tussenresultaten van de berekeningen kunnen op het scherm of op een file worden weergegeven.

Om de fysische effecten te kwantificeren wordt een 'loop' uitgevoerd voor alle omringende objecten. De afstand tussen elk object en het reagerende magazijn wordt bepaald. Voor de berekening worden wegen opgedeeld in segmenten van 25 m, waarna elk segment wordt behandeld als een apart object, gepositioneerd op de middencoördinaten van het segment.

Als het object een POL-faciliteit betreft, gelegen binnen 25 of 60 m van het magazijn, dan zal een bericht hiervan op het scherm en op de file verschijnen. Voor 1.1-explosieven dient een minimale afstand van 25 m gehanteerd te worden. Afhankelijk van het feit of de drukontlasting van een potentiële explosielocatie gericht is naar de POL-faciliteit is de minimale afstand tot deze explosielocatie voor 1.3-explosieven gelijk aan 25 m of 60 m [2].

'RISKANAL' zal vervolgens de explosie-effecten, de gevolgen van deze effecten voor de omgeving en de gevolgen voor personen berekenen. De berekeningen die hierna worden beschreven worden voor elk donormagazijn gemaakt.

De volgende explosie-effecten worden in 'RISKANAL' berekend:

- uitworp van fragmenten en brokstukken:
  - aantal fragmenten per m<sup>2</sup>;
  - massaverdeling en eindsnelheid;
- 'blast' (druk en impuls):
  - piekoverdruk invallend;
  - piekoverdruk gereflecteerd;
  - impuls (invallend en gereflecteerd);
  - positieve fase duur;
  - aankomsttijd van de schokgolf;
  - schokgolfsnelheid;
- hittestraling:
  - intensiteit;
  - duur (blootstellingstijd).

Voor de fragment- en brokstukdichtheid worden door het TNO-PML afgeleide formules gebruikt, gebaseerd op experimentele data uit de literatuur [4, 5, 6]. Deze formules werden door TNO gevalideerd door berekende resultaten te vergelijken met meer recente data [8, 9, 10], waarbij geen significante afwijkingen werden geconstateerd. De fragment- en brokstukdichtheid is afhankelijk van het type constructie van het magazijn en van de hoeveelheid opgeslagen explosieven. De overige explosie-effecten worden berekend met formules uit de AC/258-aanbevelingen. Een overzicht van alle formules is in bijlage D bijgevoegd.

Na de berekening van de fragmentdichtheid worden de gevolgen van deze fragmenten en brokstukken bepaald. Hiervoor wordt de fragmentdichtheid opgedeeld in drie gewichtsklassen:

- klasse m<sub>1</sub> zijn alle brokstukken kleiner dan 0,1 kg;
- klasse m<sub>2</sub> zijn alle brokstukken tussen 0,1 kg en 4,5 kg;
- klasse m<sub>3</sub> zijn alle brokstukken groter dan 4,5 kg.

Voor explosies van gevaren(sub)klasse 1.2 stoffen wordt aangenomen dat alle fragmenten kleiner zijn dan 0,1 kg. Als functie van de geschaalde afstand is een verdeling gemaakt zoals is weergegeven in tabel 5.

De maximale beginsnelheid van een klein fragment (m<sub>1</sub>) wordt gesteld op 1500 m/s (Gurney). Voor de gemiddelde beginsnelheid van een klein fragment in de richting loodrecht op de deur van een igloo-type magazijn wordt 1200 m/s genomen. Voor een niet igloo-type magazijn wordt de gemiddelde beginsnelheid aan de deurzijde gesteld op 1000 m/s. Aan de zijkant en achterzijde van het magazijn worden deze snelheden gesteld op respectievelijk 500 m/s en 300 m/s. Voor fragmenten en brokstukken uit klasse m<sub>2</sub> wordt een beginsnelheid van 300 m/s gehanteerd aan de ingang van een igloo-type magazijn. Voor de overige situaties wordt een beginsnelheid van 200 m/s aangenomen. Voor de zware fragmenten

( $m_3$ ) tenslotte, wordt een beginsnelheid aangenomen van 200 m/s aan de ingang van een igloo-type en een snelheid van 100 m/s in de overige situaties.

Tabel 5: *Massaverdeling van fragmenten en brokstukken als functie van de geschaalde afstand.*

Geschaalde afstand (m/kg <sup>1/3</sup> )	Massaverdeling (%)		
	$m_1$	$m_2$	$m_3$
SD < 1	75	20	5
1 < SD < 2	70	26	4
2 < SD < 3	65	31	4
3 < SD < 4	60	36	4
4 < SD < 5	55	41	4
5 < SD < 6	50	47	3
6 < SD < 7	45	52	3
7 < SD < 8	40	57	3
8 < SD	35	62	3

De snelheid op een bepaalde afstand  $x$  van de donor (objectafstand) wordt berekend met de formule:

$$V_x = V_0 e^{-x/L}$$

Met:

$V_x$  = snelheid op afstand  $x$  (m/s)

$V_0$  = beginsnelheid (m/s)

$L$  = een parameter gedefinieerd door  $L = 2(k^2 \cdot m)^{1/3} / (C_D \cdot \rho)$  met:

$k$  = vormfactor (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = fragmentmassa (kg)

$C_D$  = dragcoëfficiënt

$\rho$  = dichtheid van het medium (kg/m<sup>3</sup>)

Als gelijkvormige fragmenten met een vormfactor  $k = 2,61 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> (2,61 g/cm<sup>3</sup>), een dragcoëfficiënt  $C_D = 1,28$  en de dichtheid van lucht worden aangenomen, levert dit:

$$L = 247 \cdot m^{1/3} \text{ (m)}$$

voor gietstalen projectielen en fragmentatiebommen in lucht bij standaardcondities en verwaarlozing van de zwaartekracht (AC/258, part II).

Voor penetratie in beton wordt vervolgens de maximale penetratiediepte berekend met de volgende formule:

$$x = 1,0764 \cdot 10^6 \cdot m^{0,4} \cdot V_x^{1,8} + 0,04752 \cdot m^{0,33} \text{ (m)}$$

Als een gemiddelde en constante muurdikte  $d$  van 0,1 m wordt aangenomen kan de restsnelheid na penetratie berekend worden met:

$$V_R = V_x \sqrt{1 - 0,75 \frac{d}{x}} \quad (m/s)$$

Voor 1,5 mm staal (auto's) en voor de menselijke huid wordt de snelheid berekend waarop fragmenten van respectievelijk 0,1, 1,0 en 4,5 kg een kans hebben van 50% dat penetratie plaatsvindt ( $V_{50}$ ). Dit is de zogenaamde 'ballistic limit velocity'. De formules die hiervoor gebruikt worden zijn gegeven in bijlage E. Met de snelheden  $V_x$  en  $V_{50}$  kan de restsnelheid na perforatie van de beschermende laag (huid, staal),  $V_r$  berekend worden:

$$V_r = \sqrt{(V_x^2 - V_{50}^2)}$$

Deze restsnelheid is dan bepalend voor de berekening van de kans op letaliteit. Als alle fysische parameters zijn bepaald worden de effecten op mensen voorspeld door middel van probit-functies. Deze probit-functies zijn door TNO-PML afgeleid van experimentele data uit de literatuur aangevuld met data verkregen uit eigen experimenten. De probit-functies zijn beschreven in het 'Groene Boek' [3] waarin kwetsbaarheidsmodellen voor de effecten op mensen zijn gegeven. De algemene vorm van deze probit-functies is:

$$Pr = a + b \cdot \ln S$$

Hierbij zijn  $a$  en  $b$  constanten en is  $S$  een variabele. Afhankelijk van de waarde van  $S$ , geeft de grootte van  $Pr$  de kans op een bepaalde gebeurtenis (voor dit geval hoofdzakelijk de kans op letaliteit). De kans (in %) behorende bij de  $Pr$ -waarden is weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Relatie tussen kansen en probits.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,00	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,897	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

Als  $Pr$  kleiner dan 0 is wordt aangenomen dat de kans gelijk is aan nul en als  $Pr$  groter is dan 7,33 wordt de kans op 100% gesteld. Voor een  $Pr$ -waarde van 4,88 bijvoorbeeld, wordt de bijbehorende kans van 46% genomen. Zo worden de volgende effecten op mensen berekend:

- de effecten als gevolg van fragmenten en brokstukken:
  - fragmenten < 0,1 kg: criterium huidperforatie;
  - fragmenten tussen 0,1 kg en 4,5 kg: criterium kinetische energie;

- fragmenten > 4,5 kg: criterium schedelbasisfractuur;
- de effecten als gevolg van 'blast' (druk en impuls):
  - trommelvliesbreuk (= niet letaal);
  - letale longschade;
  - letaal letsel als gevolg van schade aan of instorting van gebouwen;
  - letaal letsel als gevolg van ruitbreuk;
  - letaal letsel door meesleureffect als gevolg van 'blast';
- de effecten als gevolg van hittestraling:
  - 2<sup>e</sup> graads verbranding;
  - 3<sup>e</sup> graads verbranding.

Hierbij worden de volgende aannames gedaan.

- Voor de effecten van fragmenten wordt voor elke massaklasse berekend wat de kans is op letaliteit als een mens door een dergelijk fragment wordt geraakt. Het totale oppervlak van een mens wat bij inslag tot letaliteit zou leiden wordt geschat op 0,58 m<sup>2</sup> voor rechtopstaande personen. Dit oppervlak wordt gebruikt om de kans op raken te berekenen.
- Voor de effecten van ruitbreuk wordt de kans op letaliteit opgebouwd uit de kans op ruitbreuk, de kans dat ruitbreuk leidt tot letaliteit bij personen binnen 1,75 m achter de ruit en de kans dat een persoon zich in de ruimte binnen 1,75 m achter de ruit bevindt. Voor de kans op ruitbreuk worden twee verschillende probit-functies gebruikt, namelijk voor oude huizen (gebouwd voor 1975) en nieuwe huizen (gebouwd na 1975). Voor de kans dat een persoon zich binnen 1,75 m achter een ruit bevindt wordt 5% gehanteerd. Deze waarde is relatief laag voor kantoren tijdens kantooruren, maar relatief hoog voor huizen.

Voor een overzicht van alle probit-functies die gebruikt worden in 'RISKANAL' wordt verwezen naar het 'Groene Boek' [3] of van Amelsfort [1].

Aangezien de formules die door 'RISKANAL' gebruikt worden slechts geldig zijn voor relatief grote hoeveelheden explosieven levert dit conservatieve waarden op voor de kans op letaliteit indien slechts kleine hoeveelheden explosieven zijn opgeslagen. Nadat alle effecten zijn berekend, wordt daarom door het programma een correctie gemaakt voor de opslag van kleine hoeveelheden explosieven (kleiner dan 500 kg). In dat geval worden de aangepaste veiligheidsafstanden gehanteerd als gegeven in [14] en in tabel 7.

Als een omringend object geplaatst is tussen de afstanden voor 'geen gevaar' en 'lichte bouwkundige schade', wordt de kans op letaliteit resulterend uit de berekeningen gedeeld door tien. Voor objecten buiten de afstand voor 'geen gevaar' wordt de kans op letaliteit op nul gesteld.

Tabel 7: Aangepaste veiligheidsafstanden voor opslag van kleine hoeveelheden explosieven.

Hoeveelheid (kg)	Inhabited building distances (m)		
	gevaaren(sub)klassen 1.1 en 1.2 geen gevaar	gevaaren(sub)klasse 1.3 lichte bouwkundige schade	
< 50	75	45	15
51 - 100	105	65	15
101 - 150	125	75	25
151 - 200	135	75	25
201 - 250	145	85	25
251 - 300	155	85	30
301 - 350	165	95	30
351 - 400	175	95	30
401 - 450	175	105	35
451 - 500	185	105	35

Nu zijn alle kansen op letaliteit voor alle objecten en alle bronnen voor een bepaalde donor berekend. Er kan een statistische optelsom van alle kansen voor alle objecten worden gemaakt. Hierbij worden de volgende aannames gedaan.

- Het aantal gewonden als gevolg van instorting van gebouwen wordt gesteld op twee keer het aantal letaliteiten.
- Het aantal gewonden als gevolg van fragmenten wordt gesteld op twee keer het aantal letaliteiten.
- Het aantal gewonden als gevolg van het meesleureffect als gevolg van blast wordt gesteld op twee keer het aantal letaliteiten.

De kans op letaliteit wordt voor elk object en voor de bron op het scherm weergegeven en naar een file geschreven. Nu kunnen de effecten van alle bronnen van deze donor voor alle objecten berekend worden. Voor wegen wordt een gemiddelde waarde voor de kans op letaliteit genomen voor auto's en fietsers/voetgangers, waarbij een gemiddelde snelheid van 60 km/uur voor auto's en 15 km/uur voor fietsers/voetgangers wordt aangenomen.

De kans op letaliteit voor een bepaald object is de kans op letaliteit maal het aantal units maal het aantal personen per unit maal de gemiddelde bezetting van het object. Voor wegen wordt per segment van 25 m de gemiddelde bezetting bepaald, welke afhankelijk is van de verkeersintensiteit en de snelheid. Voor elk segment wordt de kans op letaliteit vermenigvuldigd met de verkeersbezetting, waarna deze getallen voor alle segmenten bij elkaar worden opgeteld. Bijlage F geeft een voorbeeld van een standaard gedetailleerde output zoals deze door het programma wordt gegeven.

## 2.4 Output

In de output file worden de effecten van alle mogelijke donors van het complex weergegeven en volgt een overzicht van de risico's voor het complex. Voor elke

donor wordt weergegeven welk type donor het betreft, wat de massa en gevaaren(sub)klasse van de inhoud is en voor elk object de effecten als gevolg van een initiatie in deze donor. Per object worden de volgende effecten aangegeven:

- piekoverdruk;
- impuls;
- fragmentdichtheid;
- positieve fase-duur;
- stralingsintensiteit;
- blootstellingstijd;
- kans op trommelvliesbreuk;
- kans op longschade;
- kans op letaliteit door fragmenten;
- kans op letaliteit door fragmenten voor fietsers/voetgangers;
- kans op letaliteit door instorting van huizen;
- kans op letaliteit door ruitbreuk;
- kans op letaliteit door meesleureffect als gevolg van blast;
- kans op letaliteit door hittestraling (3<sup>e</sup> graads verbranding);
- kans op 2<sup>e</sup> graads verbranding.

Per donor wordt de output afgesloten met een tabel met daarin per object de kans op letaliteit en de kans op verwonding. Voor wegen worden de kansen voor automobilisten en voor fietsers/voetgangers apart aangegeven.

Vervolgens worden voor elk object de kansen op letaliteit voor elke donor bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal donors. Dit geeft de gemiddelde kans op letaliteit per object voor dit complex en wordt in een standaardtabel in de output-file weergegeven. Door deze gemiddelde kans op letaliteit te vermenigvuldigen met de kans op een explosie wordt het gemiddelde individueel risico (IR) per object gevonden. Deze is echter niet in de tabel opgenomen. In dezelfde tabel wordt wel aangegeven welke bron de grootste kans op letaliteit geeft en hoe groot die kans voor deze bron is (bijlage G).

Uit de gemiddelde kans op letaliteit per object en het aantal personen verbonden aan dit object kan een gemiddeld aantal letaliteiten per object worden berekend. Deze gemiddelde letaliteiten per object bij elkaar opgeteld geeft het gemiddeld aantal te verwachten letaliteiten voor het complex. Dit getal wordt in de output-file weergegeven. Bovendien wordt het gemiddelde aantal te verwachten zware verwondingen weergegeven.

Tenslotte wordt het groepsrisico bepaald door het gemiddelde aantal te verwachten letaliteiten voor het complex te vermenigvuldigen met de kans op een explosie. De kans op een explosie is gelijk aan de kans op een initiatie in een bepaald magazijn ( $= 10^{-5}$ ) maal het aantal magazijnen. Ook het groepsrisico wordt in de output-file weergegeven.

Het programma 'RISKANAL' geeft nu nog de mogelijkheid om een plaatje te genereren op het scherm of op een plotter van alle objecten waarbij letaliteit of verwonding te verwachten valt.

Het programma wordt vervolgens afgesloten met een aantal vragen.

- Wilt u een nieuwe data-file maken?
- Wilt u een nieuwe 'run' uitvoeren?
- Indien ja, wilt u de input-file opnieuw inlezen?

Indien op al deze vragen negatief wordt geantwoord kan het programma verlaten worden.

### 3 Conclusies

In dit rapport is een gedetailleerd overzicht gegeven van het interactieve programma RISKANAL. Dit programma wordt gebruikt om het interne en externe risico voor een munitiemagazijnencomplex te berekenen. Het programma is gebaseerd op een combinatie van de NATO AC/258-aanbevelingen en de meest recente letsel-criteria zoals beschreven in het Nederlandse 'Groene Boek'. De AC/258-aanbevelingen zijn gebruikt voor de berekening van het intern risico van het complex en voor de berekening van de explosie-effecten. Voor de berekening van de fragment- en brokstukdichtheid wordt gebruikgemaakt van door het TNO Prins Maurits Laboratorium afgeleide formules, gebaseerd op de ESKIMO en Yuma-tests. De formules uit het 'Groene Boek' worden gebruikt voor de berekening van het extern risico. Hoewel de bruikbaarheid van enkele criteria gelimiteerd is, lijken de eindresultaten van de berekeningen erg realistisch.

Aangezien de kennis op het gebied van risicoanalyse aan ontwikkeling onderhevig is, is het programma zo opgezet dat het in de toekomst mogelijk is om gebruikte relaties eenvoudig te vervangen door meer recente relaties.

Door het interactieve karakter van het programma kunnen de input-gegevens eenvoudig worden veranderd en kunnen de effecten van deze veranderingen snel zichtbaar worden gemaakt. Hierdoor kan op een relatief eenvoudige en snelle manier een ontwerp voor een optimale lay-out worden gemaakt.

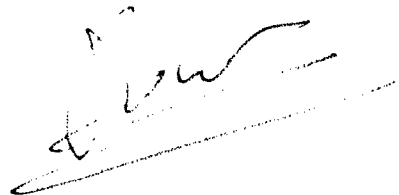
De absolute getallen dienen met enige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Doordat wereldwijd slechts beperkte experimentele data beschikbaar zijn, zijn veel van de formules gebruikt voor risicoanalyse slechts beperkt gevalideerd. De onnauwkeurigheid van de resultaten kan door de gebruikte formules relatief groot zijn. Om dit te verbeteren is experimenteel onderzoek noodzakelijk. Echter, de verkregen kwantitatieve resultaten zijn een goed hulpmiddel om waarden voor het extern risico relatief met elkaar te vergelijken.

## 4 Referenties

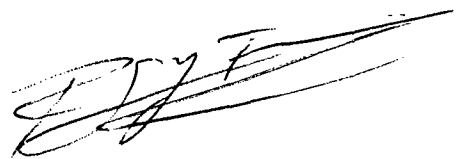
- [1] Amelsfort, R.J.M.,  
'Risk calculations involved in storing explosives',  
TNO-rapport PML 1992-123, november 1992.
- [2] Manual on NATO safety principles for the storage of ammunition and explosives, AC/258, 1976.
- [3] 'Schadeboek' Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen (Groene Boek),  
Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid CPR, ISSN 0921-9633, 16, 1990.
- [4] Weals, F.H.,  
'ESKIMO I magazine separation test',  
DoD ESB, Naval Weapons Center, april 1973.
- [5] Weals, F.H.,  
'ESKIMO II magazine separation test',  
DoD ESB, Naval Weapons Center, september 1974.
- [6] Feinstein, D.L. en Nagaoka, H.H.,  
'Fragmentation hazard study, Phase III: fragment hazards from detonation of multiple munitions in open stores',  
IIT Research Institute, Final Report 76176.
- [7] Houwelingen, J. van,  
Nota van van Houwelingen, bijlage bij brief betreffende zonering en externe veiligheid rond munitie-opslagplaatsen, Ministerie van Defensie,  
brief nr: D 86/044/13441, d.d. 12 april 1988.
- [8] Bowman, F.; Henderson, J.; Rees, N.J.M. en Walker, J.,  
'Joint Australian/UK stack fragmentation trials, phase 1 Report',  
21st Explosives Safety Seminar, 1984.
- [9] Henderson, J.; Walker, J.; Rees, N. en Bowe, R.,  
'Joint Australian/UK stack fragmentation trials, phase II Report',  
22nd Explosives Safety Seminar, 1986.
- [10] Henderson, J. en Rees, N.,  
'Joint Australian/UK stack fragmentation trials, preliminar phase 3 Report',  
23rd Explosives Safety Seminar, 1988.

- [11] Healey, J.; Weismann, S.; Werner, H.; Dobbs, N. en Price, P.,  
'Primary fragment characteristics and impact effects on protective barriers',  
Picatinny Arsenal, Dover, New Jersey, Technical Report 4903,  
december 1975.
- [12] Baker, W.E.; Cox, P.A.; Westine, P.S., et al.,  
'Explosion hazards and evaluation',  
Elseviers Scientific Publishing Company, 1983.
- [13] Zaker, Z.A.,  
'Fragment and debris hazards',  
DoD Explosive Safety Board, Washington DC, 1975, DDESB TP 12.
- [14] Amelsfort, R.J.M.,  
'Reductie van veiligheidsafstanden bij opslag van kleine hoeveelheden ex-  
plosieve stof., Deel I: 50 - 500 kg',  
TNO-rapport PML 1992-1.

## 5 Ondertekening

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ph. van Dongen', written over a horizontal line.

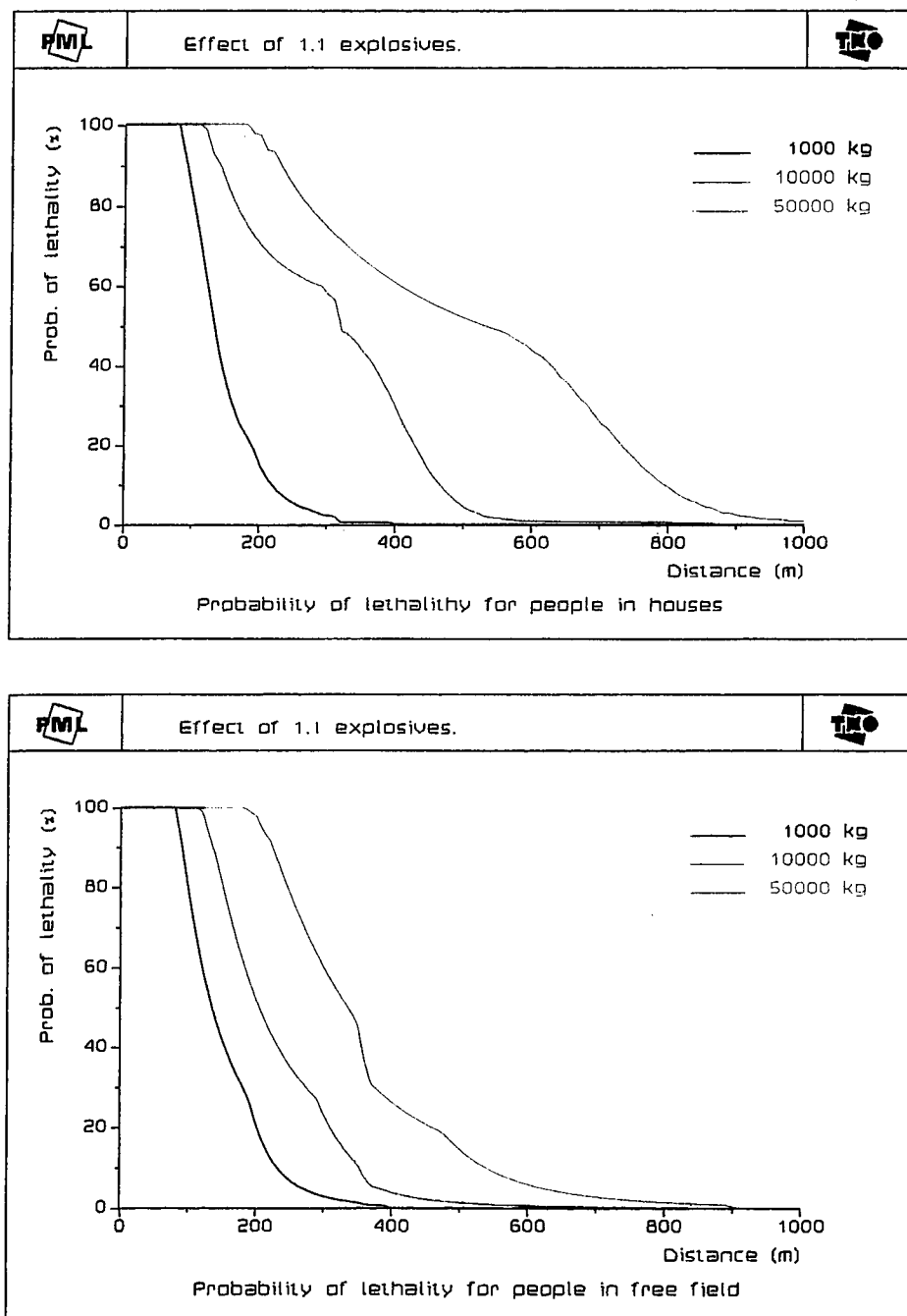
Ing. Ph. van Dongen  
Projectleider

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P.G.J. Timmers', written over a horizontal line.

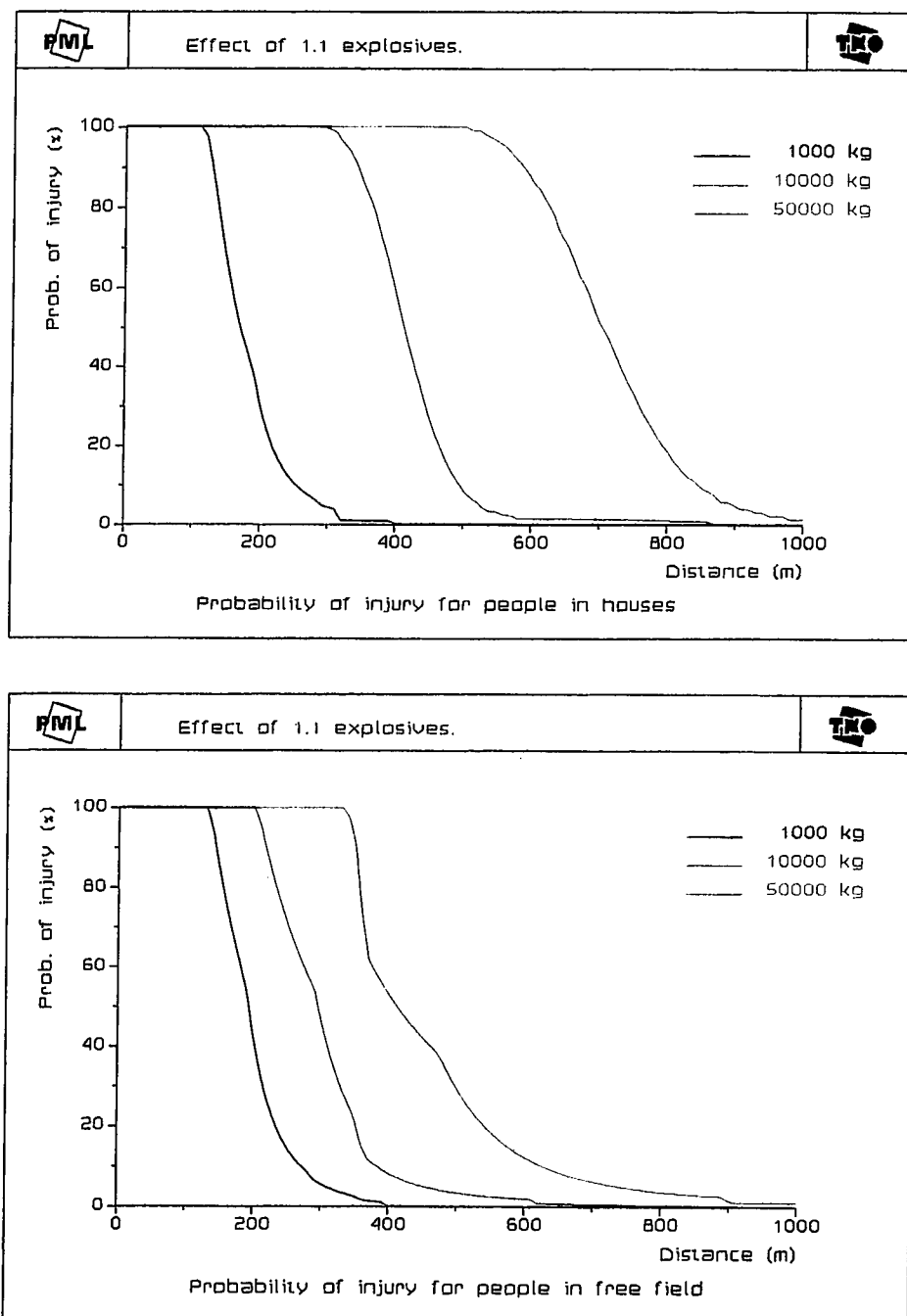
Ir. P.G.J. Timmers  
Auteur

---

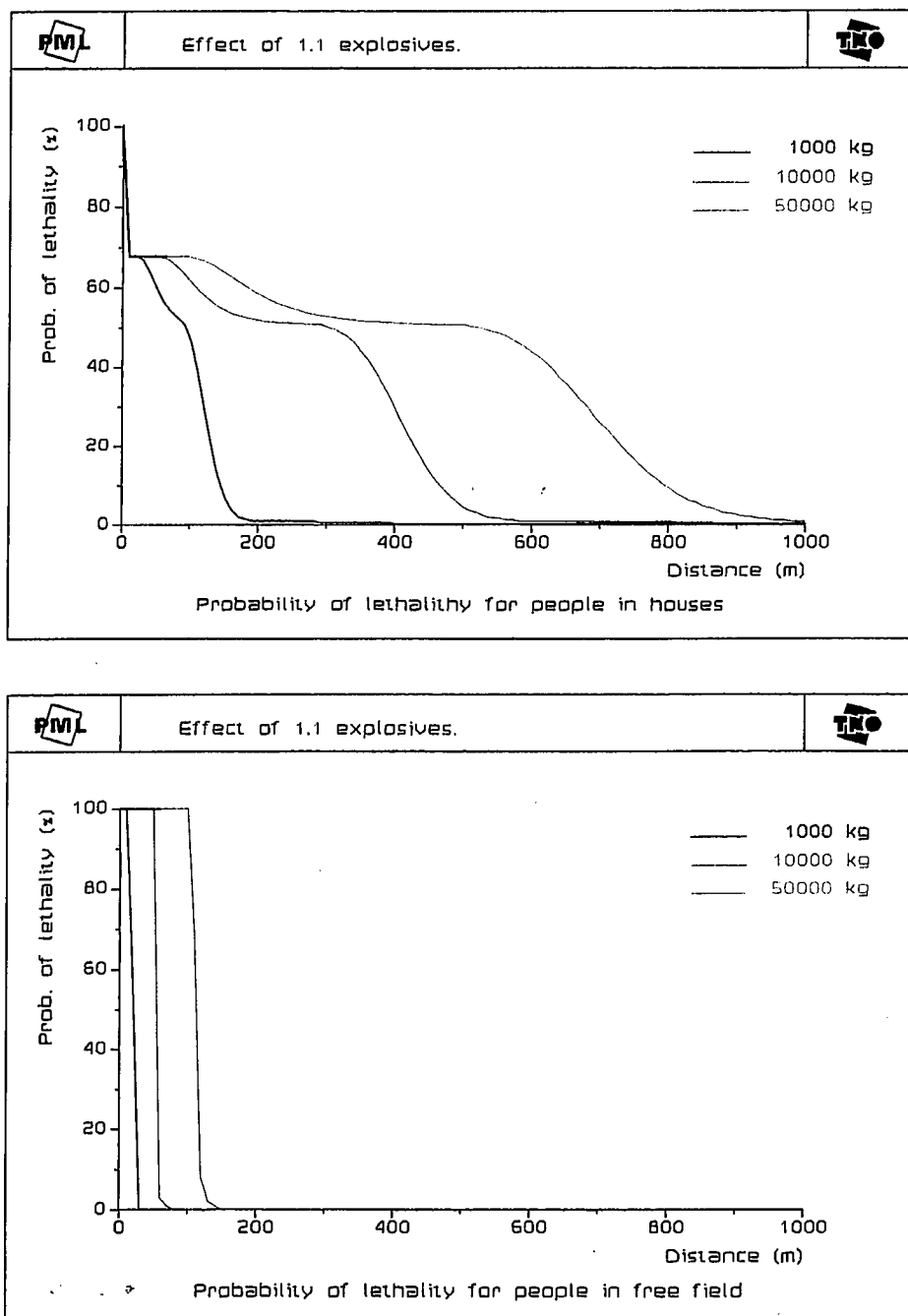
## **Bijlage A      Effect als functie van de afstand voor verschillende hoeveelheden explosieve stoffen (1.1)**



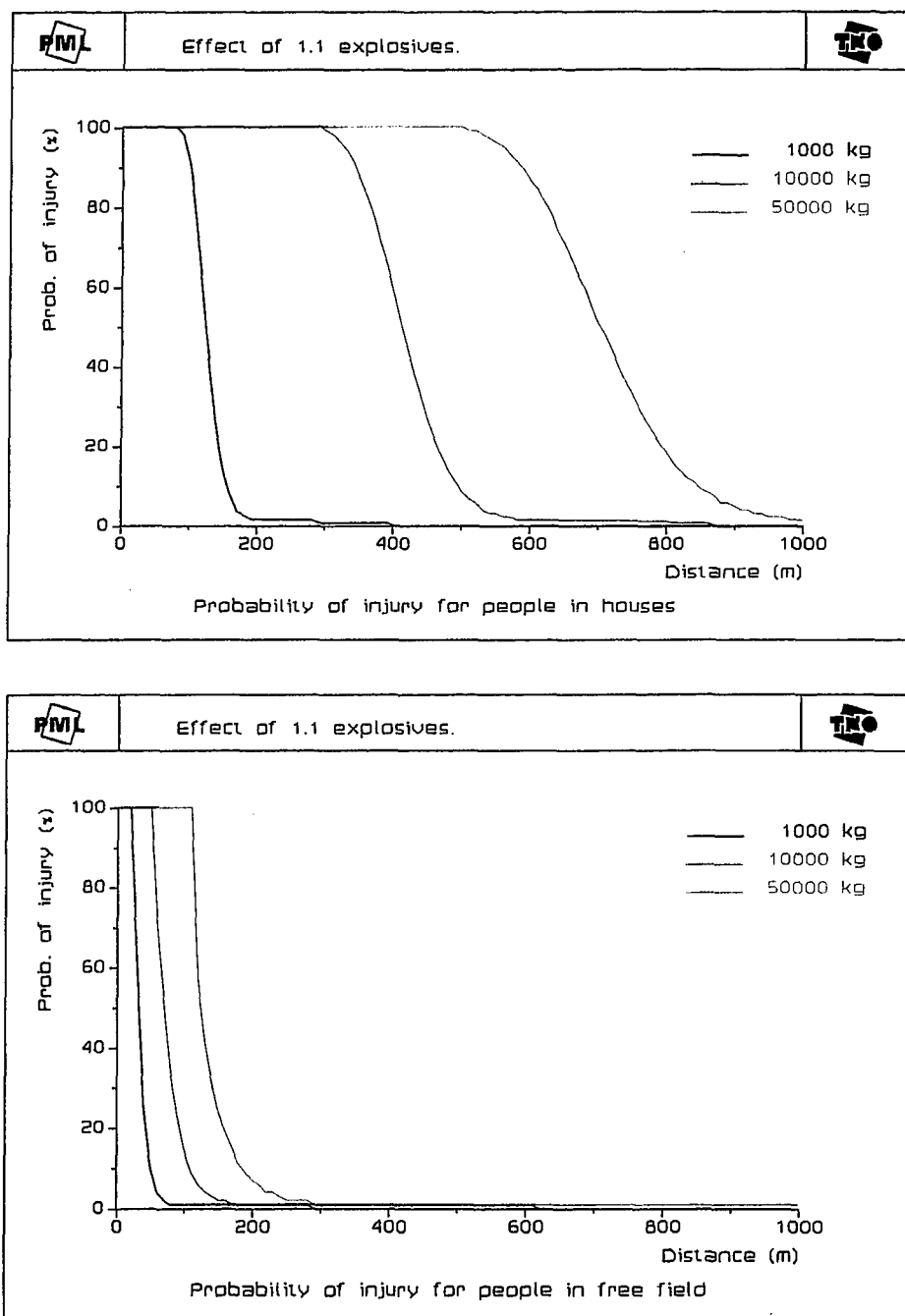
**Figuur A.1:** Effect (kans op letaliteit) als functie van de afstand voor drie hoeveelheden explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1, inclusief het effect van fragmenten en brokstukken.



**Figuur A.2:** Effect (kans op verwonding) als functie van de afstand voor drie hoeveelheden explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1, inclusief het effect van fragmenten en brokstukken.



**Figuur A.3:** Effect (kans op letaliteit) als functie van de afstand voor drie hoeveelheden explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1, zonder het effect van fragmenten en brokstukken.



**Figuur A.4:** Effect (kans op verwonding) als functie van de afstand voor drie hoeveelheden explosieven van gevaren(sub)klasse 1.1, zonder het effect van fragmenten en brokstukken.

## Bijlage B      Data-file format met een voorbeeld

Card 1:	-	1X
	number of magazines	I 4
	number of surrounding objects	I 4
	number of object coordinates	I 4
	-	1X
	average number of people in houses	F5.2
	-	1X
	complex name	A50

For each magazine:

Card 2:	-	1X
	magazine code	A2
	-	2X
	magazine name	A6
	-	2X
	explosive contents (kg)	F10.0
	-	2X
	hazard division	A4
Card 3:	-	1X
	3 corner coordinates	6F12.5

For each surrounding object:

Card 4:	-	1X
	object name	A6
	-	1X
	object code	A2
	-	1X
	first coordinate number	I 4
	last coordinate number	I 4
	number of houses/road intensity	I6
	-/cyclist and pedestrian intensity	I 4
	-	1X
	object centre or first road coordinates	2F12.5
Card 5:	-	1X
	next road coordinates	6F12.5

## Voorbeeld van een input-file voor RISKANAL.

```

      5    14    20    3.25  EXAMPLE
I 3      IGLOO1    15000.    1.1
      112.5          125.0    122.5    125.0    122.5    150.0
OB      EARTH2    50000.    1.3a
      250.0          100.0    250.0    90.0    275.0    90.0
I 3      IGLOO3    15000.    1.1
      250.0          37.5    250.0    27.5    275.0    27.5
OP      OPEN4     20000.    1.2
      250.0          -25.0    250.0    -35.0    275.0    -35.0
I 3      IGLOO5    15000.    1.1
      175.0          -110.0    175.0    -120.0    200.0    -120.0
HS1 HS  1    1    5    0    75.0    600.0
HS2 HS  2    2    8    0    150.0    690.0
HS3 HS  3    3    5    0    230.0    600.0
CM4 HU  4    4    90    0    550.0    200.0
CM5 HU  5    5    90    0    800.0    700.0
HS6 HS  6    6    5    0    420.0    250.0
PK7 HU  7    7    5    0    950.0    140.0
HS8 HS  8    8    5    0    420.0    50.0
HS9 HS  9    9    2    0    190.0    -245.0
HS10 HS 10   10    1    0    10.0    -245.0
HS11 HS 11   11    1    0   -150.0    50.0
RD1 RD 12   13  1000  50   -450.0    650.0
      1000.0    650.0
RD2 RD 14   18    100  10   -50.0    650.0
      -50.0    -200.0    350.0    -200.0    450.0    -100.0
      1000.0    -100.0
RD3 RD 19   20    10  100   395.0    -160.0
      395.0    700.0

```

Voorbeeld van hoe het programma de input-file weergeeft.

Berekeningen met maximale 'quantity distances'.

Berekeningen met gevaar van fragmenten.

The following data concern the storage sites:

IGLOO1	Type I3	High explosive contents	15000. kg	Hazard Division 1.1
112.50	125.00	122.50 125.00 122.50	150.00	112.50 150.00
EARTH2	Type OB	High explosive contents	50000. kg	Hazard Division 1.3a
250.00	100.00	250.00 90.00 275.00	90.00	275.00 100.00
IGLOO3	Type I3	High explosive contents	15000. kg	Hazard Division 1.1
250.00	37.50	250.00 27.50 275.00	27.50	275.00 37.50
OPEN4	Type OP	High explosive contents	20000.kg	Hazard Division 1.2
250.00	-25.00	250.00 -35.00 275.00	-35.00	275.00 -25.00
IGLOO5	Type I3	High explosive contents	15000. kg	Hazard Division 1.1
175.00	-110.00	175.00 -120.00 200.00	-120.00	200.00 -110.00

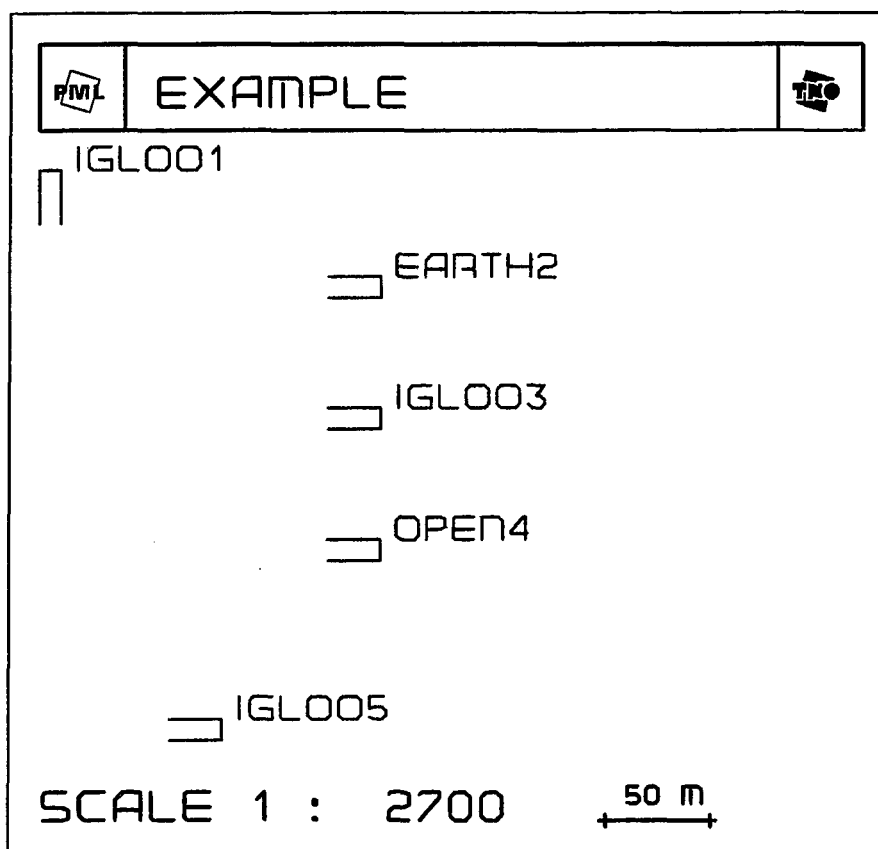
The following data concern the surroundings:

Average number of people in houses (units) is 3.25

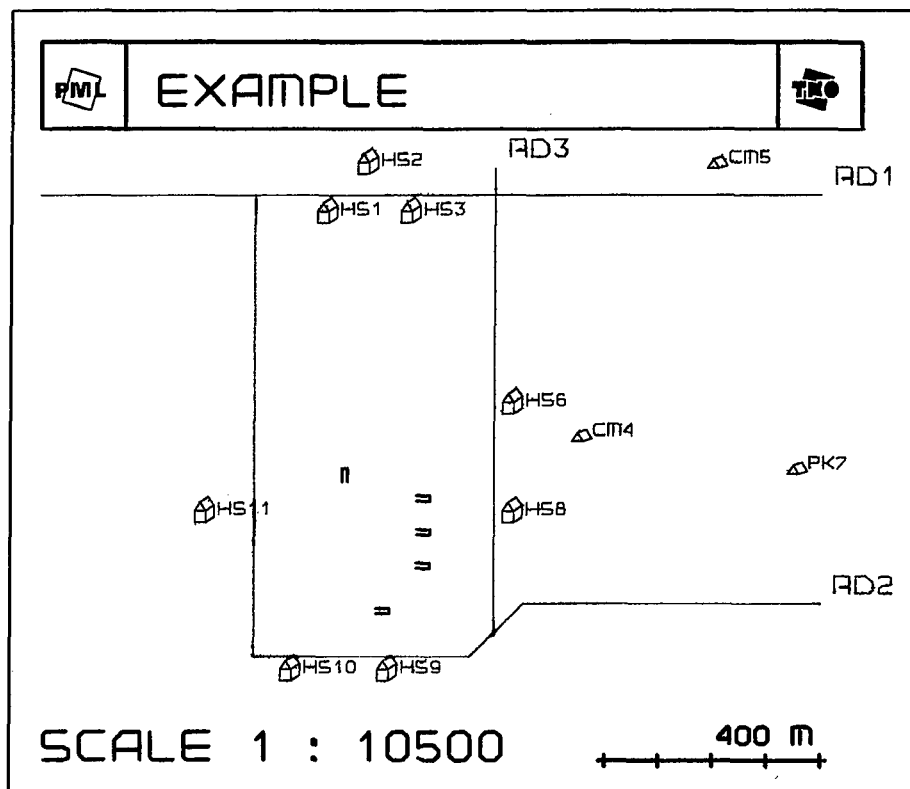
HS1	Type HS	Number of houses	5	75.00	600.00
HS2	Type HS	Number of houses	8	150.00	690.00
HS3	Type HS	Number of houses	5	230.00	600.00
CM4	Type HU	Number of houses	90	550.00	200.00
CM5	Type HU	Number of houses	90	800.00	700.00
HS6	Type HS	Number of houses	5	420.00	250.00
PK7	Type HU	Number of houses	5	950.00	140.00
HS8	Type HS	Number of houses	5	420.00	50.00
HS9	Type HS	Number of houses	2	190.00	-245.00
HS10	Type HS	Number of houses	1	10.00	-245.00
HS11	Type HS	Number of houses	1	-150.00	50.00

RD1	Type RD	24 Hours intensity	1000	Number of cyclists	50
	-450.00	650.00			
	1000.00	650.00			
RD2	Type RD	24 Hours intensity	100	Number of cyclists	10
	-50.00	650.00			
	-50.00	-200.00			
	350.00	-200.00			
	450.00	-100.00			
	1000.00	-100.00			
RD3	Type RD	24 Hours intensity	10	Number of cyclists	100
	395.00	-160.00			
	395.00	700.00			

## Bijlage C Weergave van begincondities



*Figuur C.1: Voorbeeld van een grafische weergave van een munitiemagazijnencomplex.*



*Figuur C.2: Voorbeeld van de grafische weergave van het munitiemagazijnencomplex met zijn omgeving.*

## Bijlage D      Formules voor het kwantificeren van de fysische effecten

### D.1      Fragmentdichtheid (1.1 en 1.2-bron)

De formules die door 'RISKANAL' worden gebruikt zijn afgeleid van de gefitte experimentele data verkregen tijdens de ESKIMO 1 (M107-granaten, 10.900 kg, Weals, 1973), ESKIMO 2 (M117-bommen, 10.900 kg, Weals, 1974) en Yuma (M117-bommen, 2970 kg, Feinstein, 1972) testprogramma's [4, 5, 6].

De berekende resultaten voor de fragmentdichtheid op een bepaalde afstand, verkregen uit deze data, is niet in tegenspraak met meer recente experimentele studies zoals de 'joint Australian/UK stack fragmentation trials: phase 1' in 1982, phase 2 in 1985 en phase 3 in 1987 [8, 9, 10].

De berekeningen zijn uitgevoerd met de totale hoeveelheid 1.1-explosieven. De oriëntatie van de igloos ten opzichte van het object wordt meegenomen in de berekening.

Gebruikte symbolen:

x = afstand in m;

Q = hoeveelheid explosieven betrokken bij explosie in kg;

q = fragmentdichtheid in 1/m<sup>2</sup>.

Extrapoleren naar waarden van q boven 0,5 per vierkante meter is riskant. Indien dit zich voordoet wordt een kwadratische toename van q met afnemende afstand x aangenomen.

Fragmentdichtheid voor niet igloo-type magazijnen met minder dan 3000 kg:

$$\log q = 9,7591 - 5,1203 \log (x/Q^{0,0104})$$

$$\text{als } q > 0,5: \quad Z = (11,484 \cdot 10^9 \cdot Q^{0,541})^{0,1953}$$

$$q = 0,5 (Z/x)^2$$

Fragmentdichtheid voor niet igloo-type magazijnen met meer dan 3000 kg:

$$\log q = 6,00252 - 5,08955 \log (x/Q^{0,306})$$

$$\text{als } q > 0,5: \quad Z = (2,012 \cdot 10^6 \cdot Q^{1,557})^{0,19648}$$

$$q = 0,5 (Z/x)^2$$

Fragmentdichtheid aan de zijkant van een igloo-type magazijn:

$$\log q = 5,64185 - 5,3782 \log (x/Q^{0,306})$$

voor een 1.2-donor geldt: q = 0

$$\text{als } q > 0,5: \quad Z = (8,7676 \cdot 10^5 \cdot Q^{1,6457})^{0,18594}$$

$$q = 0,5 (Z/x)^2$$

Fragmentdichtheid aan de achterzijde van een igloo-type magazijn:

$$\log q = 4,10427 - 4,43798 \log (x/Q^{0,306})$$

voor een 1.2-donor geldt:  $q = 0$

$$\text{als } q > 0,5: \quad Z = (2,5428 \cdot 10^4 \cdot Q^{1,358})^{0,22533}$$

$$q = 0,5 (Z/x)^2$$

Fragmentdichtheid aan de voorkant van een igloo-type magazijn:

$$\log q = 6,00252 - 5,08955 \log (x/Q^{0,306})$$

als 1.1-donor en  $q > 0,5$ :

$$Z = (2,012 \cdot 10^6 \cdot Q^{1,557})^{0,19648}$$

$$q = 0,5 (Z/x)^2$$

Indien een magazijn is voorzien van een aarden omwalling geldt in de richting waarin de wal staat een reductiefactor 0,5: ofwel  $q' = q/2$ .

Voor 1.2-opslag wordt uitgegaan van de volgende formules:

$$\text{als } Q < 100 \text{ kg: } \log q = 2,004722 - 0,030369 x + 0,000006 x^2 - 4,411449 \cdot 10^{-8} x^3$$

als  $100 < Q < 500 \text{ kg}$ :

$$\log q = 2,159189 - 0,027044 x + 0,000005 x^2 - 3,41991 \cdot 10^{-8} x^3$$

als  $500 < Q < 2000 \text{ kg}$ :

$$\log q = 2,64663 - 0,027371 x + 0,000056 x^2 - 4,053081 \cdot 10^{-8} x^3$$

als  $Q > 2000 \text{ kg}$ :

$$\log q = 3,066205 - 0,025275 x + 0,000047 x^2 - 3,235374 \cdot 10^{-8} x^3$$

Voor de zijkant en achterkant van een igloo wordt aangenomen dat  $q = 0$ .

Indien een magazijn is voorzien van een aarden omwalling geldt in de richting waarin de wal staat een reductiefactor 1/5: ofwel  $q' = q/5$ .

## D.2 Overige fysische effecten

Alle hierna genoemde effecten worden beschreven met de gefitte formules als gegeven in de AC/258 'Manual on NATO safety principles for the storage of ammunition and explosives', 1977, Part II, 724.c, april 1987.

Gebruikte symbolen:

$P_s$  = invallende druk in kPa

$P_r$  = gereflecteerde druk in kPa

$I_s$  = invallende impuls in kPas

$I_r$  = gereflecteerde impuls in kPas

$T_a$  = schokgolfaankomsttijd in s

- $V_s$  = snelheid van de schokgolf in m/s  
 $T_p$  = duur van de positieve fase in s  
 $R_c$  = straal van de vuurbal in m  
 $R_g$  = straal van de vuurbal op grondniveau in m  
 $W$  = hittestralingsintensiteit in kW/m<sup>2</sup>  
 $t$  = blootstellingstijd in s  
 $Q$  = betrokken hoeveelheid explosieven in kg  
 $x$  = afstand in m  
 $sc$  = scaled distance in m/kg<sup>1/3</sup>:  $sc = x/Q^{1/3}$

### Druk (1.1-bronnen)

Voor open opslag en lichte constructies worden relaties volgens de AC/258-richtlijnen gebruikt. Voor igloos en zware constructie donormagazijnen wordt gebruikgemaakt van NATO US(ST)IWP/103-95: 'Airblast from earth-covered magazines: incorporation of additional data and attempts to reduce the scatter'.

Open opslag en lichte constructies:

$$sc < 0,0674: P_s = 10^5$$

$$sc > 40: P_s = 0$$

$$0,0674 < sc < 40:$$

$$U = -0,214362789151 + 1,35034249993 \log(sc)$$

$$\begin{aligned}
 Y = & + 2,78076916577 - 1,6958988741 U - 0,154159376846 U^2 \\
 & + 0,514060730593 U^3 + 0,0988534365274 U^4 - 0,293912623038 U^5 \\
 & - 0,0268112345019 U^6 + 0,109097496421 U^7 + 0,00162846756311 U^8 \\
 & - 0,0214631030242 U^9 + 0,0001456723382 U^{10} \\
 & + 0,00167847752266 U^{11}
 \end{aligned}$$

$$\log P_s = Y$$

$$sc < 0,0674: P_r = 10^6$$

$$sc > 40: P_r = 0$$

$$0,0674 < sc < 40:$$

$$U = -0,240657322658 + 1,36637719229 \log(sc)$$

$$\begin{aligned}
 Y = & + 3,40283217581 - 2,21030870597 U - 0,218536586295 U^2 \\
 & + 0,895319589372 U^3 + 0,24989009775 U^4 - 0,569249436807 U^5 \\
 & - 0,11791682383 U^6 + 0,224131161411 U^7 + 0,0245620259375 U^8 \\
 & - 0,0455116002694 U^9 - 0,00190930738887 U^{10} \\
 & + 0,00361471193389 U^{11}
 \end{aligned}$$

$$\log P_r = Y$$

Igloos en zware constructies:

$$P_s = A' * (sc)^{(B+C \cdot \ln(sc))}$$

Voor A', B en C gelden de waarden als in tabel D.1 gegeven.

**Tabel D.1:** Curve fit coëfficiënten voor berekening piekdruk voor igloos en zware constructies.

	voorzijde	zijkant	achterzijde
A'	792,24	227,84	214,21
B	-2,0108	-0,93655	-1,1936
C	0,09419	-0,12311	-0,05778

### Impuls (1.1-bronnen)

Open opslag en lichte constructies:

$$sc < 0,0674: I_s = 10$$

$$sc > 40: I_s = 0$$

$$0,0674 < sc < 0,955:$$

$$U = + 2,06761908721 + 3,0760329666 \log(sc)$$

$$Y = + 2,52455620925 - 0,502992763686 U + 0,171335645235 U^2 + 0,0450176963051 U^3 - 0,0118964626402 U^4$$

$$0,955 < sc < 40:$$

$$U = - 1,94708846747 + 2,40697745406 \log(sc)$$

$$Y = + 1,67281645863 - 0,384519026965 U - 0,0260816706301 U^2 + 0,00595798753822 U^3 + 0,014544526107 U^4 - 0,00663289334734 U^5 - 0,00284189327204 U^6 + 0,013644816227 U^7$$

$$\log S_{imp} = Y$$

$$I_s = 0.001 S_{imp} Q^{1/3}$$

$$sc < 0,0674: I_r = 100$$

$$sc > 40: I_r = 0$$

$$0,0674 < sc < 40:$$

$$U = - 0,246208804814 + 1,33422049854 \log(sc)$$

$$Y = + 2,70588058103 - 0,949516092853 U + 0,112136118689 U^2 - 0,0250659183287 U^3$$

$$\log S_{imp} = Y$$

$$I_r = 0.001 S_{imp} Q^{1/3}$$

Igloos en zware constructies:

$$I_s/Q^{1/3} = A' * (sc)^{(B+C \cdot \ln(sc))}$$

Voor A', B en C gelden de waarden als in tabel D.2 gegeven.

**Tabel D.2:** Curve fit coëfficiënten voor berekening impuls voor igloos en zware constructies.

	voorzijde	zijkant	achterzijde
A'	222,45	122,90	73,544
B	-0,87840	-0,44293	-0,36446
C	-0,03850	-0,13156	-0,12788

**Schokgolfaankomsttijd (1.1-bronnen)**

$$sc < 0,674: \quad T_a = 10^{-5}$$

$$sc > 40: \quad T_a = 0$$

$$0,0674 < sc < 40:$$

$$U = -0,202425716178 + 1,37784223635 \log(sc)$$

$$Y = -0,0591634288046 + 1,35706496258 U + 0,052492798645 U^2$$

$$-0,196563954086 U^3 - 0,0601770052288 U^4 + 0,0696360270891 U^5$$

$$+ 0,0215297490092 U^6 - 0,0161658930785 U^7 - 0,00232531970294 U^8$$

$$+ 0,00147752067524 U^9$$

$$\log S_{\text{stim}} = Y$$

$$T_a = 0.001 S_{\text{stim}} Q^{1/3}$$

**Schokgolfsnelheid (1.1-bronnen)**

$$sc < 0,0674: \quad V_s = 100$$

$$sc > 40: \quad V_s = 0$$

$$0,0674 < sc < 40:$$

$$U = -0,202425716178 + 1,37784223635 \log(sc)$$

$$Y = -0,06621072854 - 0,698029762594 U + 0,158916781906 U^2$$

$$+ 0,443812098136 U^3 - 0,113402023921 U^4 - 0,369887075049 U^5$$

$$+ 0,129230567449 U^6 + 0,19857981197 U^7 - 0,0867636217397 U^8$$

$$- 0,0620391900135 U^9 + 0,0307482926566 U^{10} + 0,0102657234407 U^{11}$$

$$- 0,00546533250772 U^{12} - 0,000693180974 U^{13} + 0,0003847494916 U^{14}$$

$$\log S_{\text{vel}} = Y$$

$$V_s = S_{\text{vel}} Q^{1/3}$$

**Positieve fase duur (1.1-bronnen)**

$$sc < 0,178: \quad T_p = 10^{-4}$$

$$sc > 40: \quad T_p = 0$$

$$0,178 < sc < 1,01:$$

$$U = +1,92946154068 + 5,25099193925 \log(sc)$$

$$Y = -0,614227603559 + 0,130143717675 U + 0,134872511954 U^2$$

$$+ 0,0391574276906 U^3 - 0,00475933664702 U^4 - 0,00428144598008 U^5$$

$$1,01 < sc < 2,78:$$

$$U = -2,12492525216 + 9,2996288611 \log(sc)$$

$$Y = +0,315409245784 - 0,0297944268976 U + 0,030632954288 U^2$$

$$+ 0,0183405574086 U^3 - 0,0173964666211 U^4 - 0,00106321963633 U^5$$

$$+ 0,00562060030977 U^6 + 0,0001618217499 U^7 - 0,0006860188944 U^8$$

$$2,78 < sc < 40:$$

$$U = -3,53626218091 + 3,46349745571 \log(sc)$$

$$Y = +0,686906642409 + 0,0933035304009 U - 0,0005849420883 U^2$$

$$- 0,00226884995013 U^3 - 0,00295908591505 U^4 + 0,00148029868929 U^5$$

$$\log S_{\text{pos}} = Y$$

$$T_p = 0.001 S_{\text{pos}} Q^{1/3}$$

**Hittestralingseffect (1.1 en 1.3-bronnen)**

Voor 1.3-explosieven wordt 10% van de totale hoeveelheid genomen, terwijl voor igloos waarin 1.3 ligt opgeslagen de hittestraling alleen wordt berekend aan de voorzijde.

$$R_c = 2.8.Q^{0.28}$$

$$R_g = 0.45.Q^{0.44}$$

$$t = 0.93.Q^{0.21}$$

$$W = 19.Q^{0.82} / x^2$$

Indien  $x < R_g$  (object in de vuurbal) worden de waarden voor  $W$  en  $t$  aangepast zodat letaliteitsberekeningen resulteren in kans op letaliteit van 100%:  $t = 6$ ;  $W = 200$ .

**D.3 Formules voor (handmatige) controle van de resultaten verkregen met de gefitte formules**

Shock velocity:

$$V_s = C_0 \cdot \sqrt{1 + 6P_s / 7P_o}$$

Particle velocity:

$$u = 5.P_s / 7P_o.V_s / (1 + 6P_s/7P_o)$$

Dynamic pressure:

$$P_d = 5 / 2 P_s^2 / (7P_o + P_s)$$

Reflected overpressure:

$$P_r = 2P_s [(7P_o + 4P_s) / (7P_o + P_s)]$$

Nu zijn alle explosie-effecten bekend voor deze bron (donor) en deze afstand (object).

## Bijlage E      Formules voor de berekening van de 'Ballistic limit velocities'

Voor **mensen in auto's** wordt aangenomen dat zij worden beschermd door een dunne stalen plaat van 1,5 mm dik. Voor de penetratie van dunne stalen platen wordt een penetratiefunctie gegeven door Healey [11]. Als deze wordt omgerekend naar SI-eenheden en voor de dikte van de plaat 1,5 mm wordt ingevuld, volgt de formule voor de 'ballistic limit velocity' voor stalen platen welke gebruikt wordt in het programma:

$$V_{50} = 41,11 m^{-0,27} \text{ (m/s)}$$

Dit leidt tot 'ballistic limit velocities' van 76,5, 41,1 en 27,4 m/s voor penetratie door staal van fragmenten met gewicht respectievelijk 0,1, 1 en 4,5 kg.

Voor **onbeschermde personen** die worden getroffen door fragmenten wordt de 'ballistic limit velocity' voor huidperforatie gebruikt. Deze formule is als volgt [12]:

$$V_{50} = 1247,1 A/m + 22,03 \text{ (m/s)}$$

met

m = massa van fragment (kg)

A = blootgestelde oppervlakte (m<sup>2</sup>)

Er wordt aangenomen dat de restsnelheid na huidperforatie hoog genoeg is om ernstig letsel te veroorzaken. In de praktijk is het niet eenvoudig om een waarde voor A te definiëren. Daarom wordt een veel gebruikte vormfactor geïntroduceerd:  $k = m/A^{3/2}$  [13]. Dit leidt tot de volgende formule:

$$V_{50} = 1247,1 (k^2 \cdot m)^{-1/3} + 22,03 \text{ (m/s)}$$

Voor de meeste effectieve fragmenten is de waarde voor k gelijk aan 4740 kg/m<sup>1/3</sup>. Voor normaal in de praktijk voorkomende fragmenten is deze waarde gelijk aan 2370 kg/m<sup>1/3</sup>. Deze laatste waarde wordt gebruikt in het programma.

## Bijlage F      Weergave van een gedetailleerde en een standaard output van de externe-risicoberekeningen

### Gebruikte symbolen:

P	= invallende druk (kPa)
I	= invallende impuls (kPas)
q	= fragmentdichtheid (1/m <sup>2</sup> )
T	= duur van de positieve fase (s)
Q	= hittestraling (kW/m <sup>2</sup> )
t	= blootstellingstijd tot Q (s)
Ear	= kans op oor-letsel (%)
Lung	= kans op long-schade (%)
Frag	= kans op letaliteit door fragmenten (%)
Frgm	= kans op letaliteit door fragmenten voor fietsers/voetgangers (%)
Coll	= kans op letaliteit door instorten van huizen (%)
Window	= kans op letaliteit door ruitbreuk (%)
Body	= kans op letaliteit door meesleureffect als gevolg van blast (%)
Burn	= kans op letaliteit door hittestraling (%)
Bur2	= kans op tweedegraads brandwonden (%)

### \*\*\* detailed output

#### Donor IGLOO1 (Source IGLOO1) with Contents:

15000. kg 1.1,    0. kg 1.2,    0. kg 1.3 and    0. kg 1.4 (ihst=2)  
Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

Object HS1 , Coordinates ( 75., 600.), Distance 464., Scaled dist. 19.  
P= 6.5 kPa, I= 415. Pa.s, q= 0.0 1/m<sup>2</sup>, T= 144. ms, Q= 0.0 kW/m<sup>2</sup>, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 54, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS2 , Coordinates ( 150., 690.), Distance 553., Scaled dist. 22.  
P= 5.2 kPa, I= 350. Pa.s, q= 0.0 1/m<sup>2</sup>, T= 151. ms, Q= 0.0 kW/m<sup>2</sup>, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 12, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS3 , Coordinates ( 230., 600.), Distance 476., Scaled dist. 19.  
P= 6.3 kPa, I= 405. Pa.s, q= 0.0 1/m<sup>2</sup>, T= 145. ms, Q= 0.0 kW/m<sup>2</sup>, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 47, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object CM4 , Coordinates ( 550., 200.), Distance 437., Scaled dist. 18.  
P= 7.1 kPa, I= 440. Pa.s, q= 0.0 1/m<sup>2</sup>, T= 141. ms, Q= 0.0 kW/m<sup>2</sup>, t= 0.0 s  
Prob: Ear 1, Lung 0, Frag 1, Frgm 0 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS6 , Coordinates ( 420., 250.), Distance 323., Scaled dist. 13.  
 P= 10.3 kPa, I= 589. Pa.s, q= 0.1 1/m2, T= 129. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS8 , Coordinates ( 420., 50.), Distance 315., Scaled dist. 13.  
 P= 10.7 kPa, I= 604. Pa.s, q= 0.1 1/m2, T= 128. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 5, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS9 , Coordinates ( 190., -245.), Distance 389., Scaled dist. 16.  
 P= 8.2 kPa, I= 492. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 136. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 91, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS10 , Coordinates ( 10., -245.), Distance 397., Scaled dist. 16.  
 P= 7.9 kPa, I= 482. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 137. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 89, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS11 , Coordinates ( -150., 50.), Distance 281., Scaled dist. 11.  
 P= 12.4 kPa, I= 673. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 123. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 8, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD2 , Coordinates ( 450., -100.), Distance 409., Scaled dist. 17.  
 P= 7.7 kPa, I= 469. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 138. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 1, Lung 0, Frag 1, Frgm 2 Coll 0, Window 32, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD3 , Coordinates ( 395., -160.), Distance 407., Scaled dist. 16.  
 P= 7.7 kPa, I= 471. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 138. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 17, Body 0, Burn 0, Bur2 0

\*\*\* default output

Donor IGLOO1 and source IGLOO1 give lethality or injury probabilities for:

Object HS1 ,	type HS, lethality:	0.03 and *0.00, injury:	0.06 and *0.00
Object HS2 ,	type HS, lethality:	0.01 and 0.00, injury:	0.02 and 0.00
Object HS3 ,	type HS, lethality:	0.03 and 0.00, injury:	0.05 and 0.00
Object CM4 ,	type HU, lethality:	0.01 and 0.00, injury:	0.02 and 0.00
Object HS6 ,	type HS, lethality:	0.06 and 0.00, injury:	0.12 and 0.00
Object HS8 ,	type HS, lethality:	0.10 and 0.00, injury:	0.19 and 0.00
Object HS9 ,	type HS, lethality:	0.05 and 0.00, injury:	0.10 and 0.00
Object HS10 ,	type HS, lethality:	0.05 and 0.00, injury:	0.10 and 0.00
Object HS11 ,	type HS, lethality:	0.14 and 0.00, injury:	0.26 and 0.00
Object RD2 ,	type RD, lethality:	0.03 and 0.02, injury:	0.06 and 0.04
Object RD3 ,	type RD, lethality:	0.01 and 0.00, injury:	0.02 and 0.01

\* second figure for cyclists/pedestrians

Donor IGLOO1, Type I3, gives 7.0 Lethal and 14.5 Serious Injuries(Included 0.0 lethalties on roads)

\*\*\* detailed output

Donor EARTH2 (Source EARTH2) with Contents:

0. kg 1.1, 0. kg 1.2, 50000. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=1)  
Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

\*\*\* default output

Donor EARTH2 and source EARTH2 give lethality or injury probabilities for:Donor EARTH2, Type OB, gives 0.0 Lethal and 0.0 Serious Injuries(Included 0.0 lethalties on roads)

\*\*\* detailed output

Donor IGLOO3 (Source IGLOO3) with Contents:

15000. kg 1.1, 0. kg 1.2, 0. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=2)  
Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

Object HS1 , Coordinates ( 75., 600.), Distance 598., Scaled dist. 24.  
P= 4.7 kPa, I= 324. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 154. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 4, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS3 , Coordinates ( 230., 600.), Distance 568., Scaled dist. 23.  
P= 5.1 kPa, I= 341. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 152. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 9, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object CM4 , Coordinates ( 550., 200.), Distance 333., Scaled dist. 13.  
P= 10.0 kPa, I= 572. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 130. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
Prob: Ear 1, Lung 0, Frag 2, Frgm 0 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS6 , Coordinates ( 420., 250.), Distance 269., Scaled dist. 11.  
P= 13.2 kPa, I= 704. Pa.s, q= 0.3 1/m2, T= 121. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 11, Frgm 0 Coll 1, Window 100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS8 , Coordinates ( 420., 50.), Distance 158., Scaled dist. 6.  
P= 28.4 kPa, I= 1163. Pa.s, q= 0.7 1/m2, T= 102. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 26, Frgm 0 Coll 10, Window 100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS9 , Coordinates ( 190., -245.), Distance 287., Scaled dist. 12.

P= 12.1 kPa, I= 661. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 124. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 7, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS10 , Coordinates ( 10., -245.), Distance 375., Scaled dist. 15.  
 P= 8.5 kPa, I= 510. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 135. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 95, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS11 , Coordinates ( -150., 50.), Distance 413., Scaled dist. 17.  
 P= 7.6 kPa, I= 465. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 139. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 82, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD2 , Coordinates ( 450., -100.), Distance 230., Scaled dist. 9.  
 P= 16.4 kPa, I= 819. Pa.s, q= 0.6 1/m2, T= 115. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 1, Lung 0, Frag 6, Frgm 6 Coll 0, Window 31, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD3 , Coordinates ( 395., -160.), Distance 234., Scaled dist. 9.  
 P= 16.0 kPa, I= 805. Pa.s, q= 0.5 1/m2, T= 116. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s  
 Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 6, Frgm 6 Coll 0, Window 20, Body 0, Burn 0, Bur2 0

\*\*\* default output

Donor IGLOO3 and source IGLOO3 give lethality or injury probabilities for:

Object HS3 , type HS, lethality:	0.01 and 0.00, injury:	0.02 and 0.00
Object CM4 , type HU, lethality:	0.02 and 0.00, injury:	0.03 and 0.00
Object HS6 , type HS, lethality:	0.16 and 0.00, injury:	0.31 and 0.00
Object HS8 , type HS, lethality:	0.37 and 0.00, injury:	0.65 and 0.00
Object HS9 , type HS, lethality:	0.13 and 0.00, injury:	0.25 and 0.00
Object HS10 , type HS, lethality:	0.05 and 0.00, injury:	0.10 and 0.00
Object HS11 , type HS, lethality:	0.05 and 0.00, injury:	0.09 and 0.00
Object RD2 , type RD, lethality:	0.07 and 0.06, injury:	0.15 and 0.12
Object RD3 , type RD, lethality:	0.07 and 0.06, injury:	0.13 and 0.12

\*\*\* detailed output

Donor IGLOO3 (Source EARTH2) with Contents:

0. kg 1.1, 0. kg 1.2, 50000. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=1)  
 Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

\*\*\* default output

Donor IGLOO3 and source EARTH2 give lethality or injury probabilities for:

\*\*\* detailed output

Donor IGLOO3 (Source OPEN4 ) with Contents:

0. kg 1.1, 20000. kg 1.2, 0. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=1)

Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

Object RD2 , Coordinates ( 450., -100.), Distance 200., Scaled dist. 0.

P= 0.0 kPa, I= 0. Pa.s, q= 0.5 1/m2, T= 0. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 6, Frgm 6 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD3 , Coordinates ( 395., -160.), Distance 186., Scaled dist. 0.

P= 0.0 kPa, I= 0. Pa.s, q= 0.6 1/m2, T= 0. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 7, Frgm 7 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

\*\*\* default output

Donor IGLOO3 and source OPEN4 give lethality or injury probabilities for:

Object RD2 , type RD, lethality: 0.06 and 0.06, injury: 0.13 and 0.13

Object RD3 , type RD, lethality: 0.07 and 0.07, injury: 0.14 and 0.14

Donor IGLOO3, Type I3, gives 16.7 Lethal and 28.3 Serious Injuries

(Included 0.1 lethalties on roads)

\*\*\* detailed output

Donor OPEN4 (Source OPEN4 ) with Contents:

0. kg 1.1, 20000. kg 1.2, 0. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=1)

Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

Object RD2 , Coordinates ( 450., -100.), Distance 200., Scaled dist. 0.

P= 0.0 kPa, I= 0. Pa.s, q= 0.5 1/m2, T= 0. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 6, Frgm 6 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD3 , Coordinates ( 395., -160.), Distance 186., Scaled dist. 0.

P= 0.0 kPa, I= 0. Pa.s, q= 0.6 1/m2, T= 0. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 7, Frgm 7 Coll 0, Window 0, Body 0, Burn 0, Bur2 0

\*\*\* default output

Donor OPEN4 and source OPEN4 give lethality or injury probabilities for:

Object RD2 , type RD, lethality: 0.06 and 0.06, injury: 0.13 and 0.13

Object RD3 , type RD, lethality: 0.07 and 0.07, injury: 0.14 and 0.14

Donor OPEN4 , Type OP, gives 0.1 Lethal and 0.1 Serious Injuries

(Included 0.0 lethalties on roads)

\*\*\* detailed output

Donor IGLOO5 (Source IGLOO5) with Contents:

15000. kg 1.1, 0. kg 1.2, 0. kg 1.3 and 0. kg 1.4 (ihst=2)

Overestimated values for small quantities and "not-open" sites.

Object HS6 , Coordinates ( 420., 250.), Distance 433., Scaled dist. 18.

P= 7.1 kPa, I= 444. Pa.s, q= 0.0 1/m2, T= 141. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 72, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS8 , Coordinates ( 420., 50.), Distance 285., Scaled dist. 12.

P= 12.2 kPa, I= 665. Pa.s, q= 0.2 1/m2, T= 124. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 8, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS9 , Coordinates ( 190., -245.), Distance 130., Scaled dist. 5.

P= 12.5 kPa, I= 1393. Pa.s, q= 1.7 1/m2, T= 95. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 53, Frgm 0 Coll 1, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS10 , Coordinates ( 10., -245.), Distance 220., Scaled dist. 9.

P= 17.4 kPa, I= 853. Pa.s, q= 0.6 1/m2, T= 114. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 22, Frgm 0 Coll 3, Window100, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object HS11 , Coordinates ( -150., 50.), Distance 376., Scaled dist. 15.

P= 8.5 kPa, I= 509. Pa.s, q= 0.3 1/m2, T= 135. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 0, Frgm 0 Coll 0, Window 94, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD2 , Coordinates ( 450., -100.), Distance 263., Scaled dist. 11.

P= 13.6 kPa, I= 719. Pa.s, q= 0.1 1/m2, T= 121. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 7, Frgm 7 Coll 0, Window 32, Body 0, Burn 0, Bur2 0

Object RD3 , Coordinates ( 395., -160.), Distance 212., Scaled dist. 9.

P= 18.3 kPa, I= 883. Pa.s, q= 0.3 1/m2, T= 112. ms, Q= 0.0 kW/m2, t= 0.0 s

Prob: Ear 0, Lung 0, Frag 3, Frgm 3 Coll 0, Window 20, Body 0, Burn 0, Bur2 0

\*\*\* default output

Donor IGLOO5 and source IGLOO5 give lethality or injury probabilities for:

Object HS6 , type HS, lethality: 0.04 and 0.00, injury: 0.08 and 0.00

Object HS8 , type HS, lethality: 0.13 and 0.00, injury: 0.25 and 0.00

Object HS9	, type HS, lethality:	0.56 and 0.00, injury:	1.00 and 0.00
Object HS10	, type HS, lethality:	0.29 and 0.00, injury:	0.54 and 0.00
Object HS11	, type HS, lethality:	0.05 and 0.00, injury:	0.11 and 0.00
Object RD2	, type RD, lethality:	0.09 and 0.07, injury:	0.17 and 0.15
Object RD3	, type RD, lethality:	0.04 and 0.03, injury:	0.08 and 0.06

Donor IGLOO5, Type I3, gives 9.2 Lethal and 18.8 Serious Injuries

(Included 0.0 lethalties on roads)

## Bijlage G      Standaard output van de eindresultaten

\*\*\*\*\*  
\*    Average number of lethalties for this complex :    6.6                    \*  
\*    Average number of serious injuries                :    12.3                    \*  
\*    Collective risk                                        :    33.1 \* 10<sup>-5</sup>           \*  
\*\*\*\*\*

### Probability of lethality (%)

Code of object	Number of objects	Average	Maximum	Source with maximum
HS1	5	0.8	3.0	IGLOO1
HS3	5	0.8	2.7	IGLOO1
CM4	90	0.7	2.2	IGLOO3
HS6	5	5.2	16.3	IGLOO3
HS8	5	12.0	36.7	IGLOO3
HS9	2	14.9	56.3	IGLOO5
HS10	1	7.8	28.7	IGLOO5
HS11	1	4.8	13.7	IGLOO1
RD2	100	5.9	12.7	IGLOO3
RD3	10	4.8	12.8	IGLOO3

**REPORT DOCUMENTATION PAGE  
(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD98-0063	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1998-A23
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 224097600	5. CONTRACT NO. A97KL474	6. REPORT DATE July 1998
7. NUMBER OF PAGES 52 (incl. 7 annexes, excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 14	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Berekening van het in- en extern risico van explosievenopslag met behulp van 'RISKANAL' [Calculation of the internal and external risk of stored ammunition and explosives by means of the computer model RISKANAL]		
11. AUTHOR(S) P.G.J. Timmers		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL/MILAN, P.O. Box 90822, 2509 LV The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) This report gives a description of the structure and contents of RISKANAL, a computer program developed at the TNO Prins Maurits Laboratory, The Netherlands. It can also be used as a manual for RISKANAL. The internal and external risks involved in storing explosives can be calculated with RISKANAL. The program uses the quantity-distances according to the NATO AC/258 recommendations and the probit functions as given in the Dutch 'Green Book'. The final result of the program is the average number of lethalties to be expected if a magazine on a complex should accidentally explode. With these figures, it can be decided whether a situation is acceptable or not by including the probability of an accidental explosion.		
16. DESCRIPTORS Ammunition Computer programs Explosives Storage Risk		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
17d. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

### Distributielijst\*

- |       |   |
|-------|---|
| 1     | DWOO  |
| 2     | HWO-KL  |
| 3*    | HWO-KLu   |
| 4*    | HWO-KM  |
| 5*    | HWO-CO  |
| 6/7   | DMKL, Sectie Milan, Hoofd Bureau AMV<br>Maj. W. Ceelen  |
| 8     | DM&P TNO-DO   |
| 9*    | DM&P TNO-DO, accountcoördinator KL  |
| 10*   | TNO-FEL, Bibliotheek  |
| 11/13 | Bibliotheek KMA   |
| 14*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>Prof. B. Scarlett, M.Sc.  |
| 15*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>Prof. ir. K.F. Wakker   |
| 16*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>BGen. Prof. J.M.J. Bosch  |
| 17*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>Ir. A.H.P.M. Schaeken   |
| 18    | TNO-PML, Directie; daarna reserve   |
| 19    | TNO-PML, Hoofd Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid<br>Ir. P.A.O.G. Korting   |
| 20/23 | TNO-PML, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid, Groep Explosiepre-<br>ventie en Bescherming<br>Dr. ir. J. Weerheijm, Dr. ir. L.H.J. Absil, Ing. Ph. van Dongen en Ir. P.G.J. Timmers |
| 24    | TNO-PML, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid, Groep Explosiepre-<br>ventie en Bescherming, reserve   |
| 25    | TNO-PML, Documentatie   |
| 26    | TNO-PML, Archief  |

---

\* De met een asterisk (\*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuittreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.